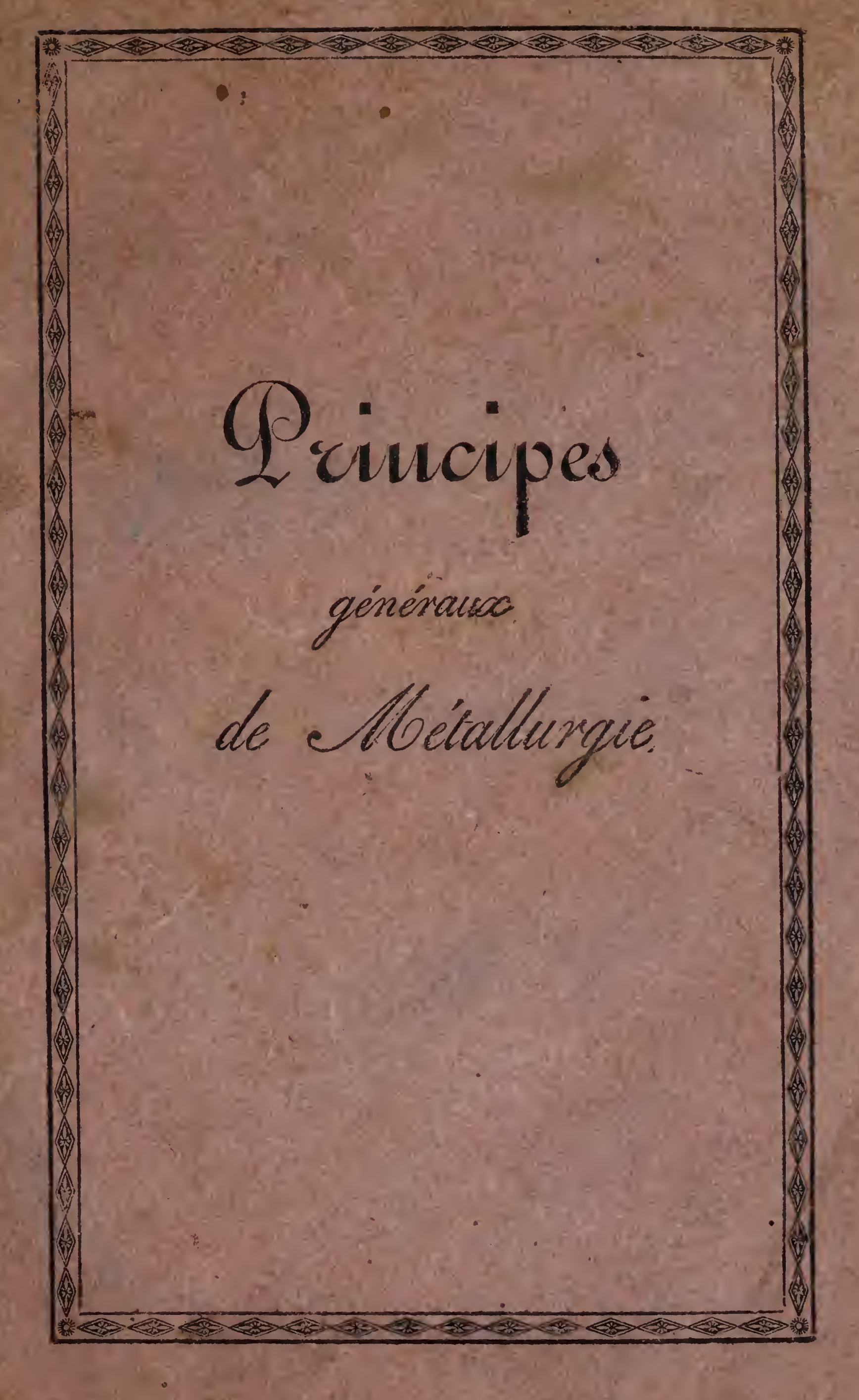


Principes généraux de Métallurgie.

PRINCIPES GÉNÉRAUX

DE

MÉTALLURGIE.

[illegible]

PRINCIPES

GÉNÉRAUX

DE MÉTALLURGIE.

PAR

A. GUENYVEAU,

INGÉNIEUR EN CHEF,

PROFESSEUR A L'ÉCOLE ROYALE DES MINES DE FRANCE.



PARIS,

Chez F. G. Levrault, rue des Fossés M. le Prince, N.° 31, et rue des Juifs, N.° 33, à Strasbourg.

1824.

PRÉFACE.

M. Alexandre Brongniart, de l'Académie des sciences, et Ingénieur en chef des mines, m'ayant engagé à rédiger, pour le *Dictionnaire des sciences naturelles*, quelques articles relatifs à la métallurgie et destinés à renfermer toutes les généralités de celle-ci, ils ont été imprimés dans les volumes XXX et XXXI. L'éditeur de ce grand ouvrage, remarquant que depuis long-temps on n'a rien publié en France sur la métallurgie en général, a pensé qu'un résumé des principes de cette science, tels qu'ils sont exposés dans les cours de l'École royale des mines, formeroit une introduction utile à plusieurs traités sur l'art des mines, la fonte des minérais, la fabrication du fer, etc., et pourroit être agréable aux personnes qui s'occupent de ces arts; en consé-

quence il m'a demandé de faire tirer à part les articles dont j'ai parlé. Pour entrer dans ses vues, j'ai dû établir un ordre convenable, et distribuer méthodiquement des matières disséminées dans plusieurs endroits du Dictionnaire ; et, en ajoutant quelques notes, il en est résulté *un Précis*, qui ne sauroit sans doute remplacer les ouvrages importans que l'Allemagne possède sur ce sujet, mais qui peut suppléer, jusqu'à un certain point, à cette lacune bien réelle dans notre littérature technologique.

A. G.

TABLE
DES MATIÈRES.

PRINCIPES GÉNÉRAUX

DE

MÉTALLURGIE.

INTRODUCTION.

L'ART de préparer les substances minérales pour les rendre propres à satisfaire aux divers besoins de la société, emploie des procédés très-variés : les uns sont mécaniques, d'autres sont chimiques, et un grand nombre de résultats ne peuvent être obtenus que par une combinaison d'opérations mécaniques et chimiques. Parmi ces procédés, dont quelques-uns forment des arts distincts et des professions séparées, il en est qui ont pour objet de séparer certaines substances de quelques autres avec lesquelles elles se trouvent mêlées ou combinées dans la nature : on se propose alors d'extraire celles qui sont utiles et qui ont de la valeur dans le commerce ; on cherche à les amener à un certain degré de pureté ou à un certain état où elles possèdent les propriétés qui les font rechercher, tandis qu'on abandonne et qu'on rejette d'autres substances combinées ou isolées qui n'offrent aucune utilité et sont par conséquent sans valeur. Tel est l'objet de LA MÉTALLURGIE. Cet art, dont les procédés participent de la chimie et de la mécanique, livre à l'industrie presque toutes les matières premières et surtout les

instrumens les plus indispensables de ses opérations ; il embrasse principalement la préparation de tous les métaux et celle des sels : on y réunit aussi celle des combustibles, l'art de fabriquer les briques et les poteries de toute espèce ; la fabrication de la chaux, du plâtre et des couleurs métalliques : cet ensemble reçoit le nom de *Minérallurgie.*

La métallurgie proprement dite est restreinte à l'art d'extraire les métaux de leurs minérais, lorsque ceux-ci ont été amenés par des opérations mécaniques à un certain degré de richesse : on y rattache cependant encore la préparation des alliages métalliques, tels que le laiton, le bronze, etc.; la fabrication de la tôle, du fer-blanc, du fil de fer, de l'acier, et celle des monnoies.

De même que la chimie pratique a pour objet d'opérer divers changemens dans la composition ou la nature intime des corps, de même la métallurgie embrasse tous ces changemens, lorsqu'ils s'opèrent en grand sur les minéraux ; elle les considère relativement aux moyens de les produire ou de les empêcher, et surtout sous le point de vue de leur utilité dans les arts : ses moyens sont, comme nous l'avons dit, mécaniques et chimiques, c'est-à-dire qu'elle emploie de *la force mécanique* et des *agens chimiques.* Ainsi, comme science, elle se rattache à la *minéralogie*, par la connoissance qu'elle suppose des substances minérales qu'elle doit employer ; à la *chimie*, par la nature des effets que l'on cherche à produire ; et, enfin, à la *mécanique*, par les machines dont elle a souvent besoin.

Comme art industriel, la métallurgie exige l'emploi bien ordonné de capitaux suffisans, et la direction de toutes les opérations vers un certain but, qui est l'accroissement de la valeur commerciale des matériaux sur lesquels on opère.

La métallurgie présente, sans doute, une des applications les plus importantes de la chimie minérale, et peut-être la plus directe ; c'est de la docimasie faite en grand : cependant il

y a des différences notables et qu'il faut soigneusement remarquer. D'abord la quantité de matières sur laquelle on opère à la fois, nécessite déjà de grands changemens dans la nature des appareils, des instrumens, et même dans le choix des agens que l'on emploie en métallurgie, comparativement à ceux dont on fait usage en docimasie. Mais la plus grande dissemblance se rencontre peut-être dans l'espèce des agens chimiques auxquels on est borné, en fabrique, par la nécessité de faire toutes ses opérations avec le moins de dépense possible. En chimie, on s'occupe principalement de l'exactitude des résultats ou de la pureté des produits que l'on prépare, sans s'embarrasser beaucoup des frais de l'opération, qui sont toujours peu considérables, à cause des petites quantités de matières soumises au travail ; mais dans la métallurgie, au contraire, il faut toujours avoir en vue l'économie des procédés.

On est parvenu en chimie, et surtout dans la chimie minérale, à employer la balance comme moyen de vérification des analyses, en montrant toujours la somme des poids des élémens égale, ou à très-peu près, au poids du corps sur lequel on a opéré : il est à désirer que l'on en fasse autant en métallurgie, du moins à l'égard des matières qui ne sont point volatiles. A la vérité, dans cet art, on se propose presque toujours une analyse incomplète, c'est-à-dire, d'obtenir isolés certains composans, en négligeant les autres. D'un autre côté, l'évaluation de l'air atmosphérique qui pénètre ou que l'on projette dans les appareils, ne peut guère être faite avec une grande précision, et encore moins celle des gaz et des vapeurs qui sont produites dans les opérations ; mais il n'en est pas moins fort utile de peser exactement toutes les substances solides qui entrent dans un fourneau, et toutes celles qui en sortent : on ne doit pas être arrêté par les dépenses que cela occasionne, car il en résultera toujours des avantages, soit relativement à la surveil-

lance, soit pour les progrès de l'art. Au reste, on se contente souvent de reconnoître par des analyses exactes, ou bien par *des essais* en petit, quelle est, dans les minérais, la proportion des substances utiles qu'on en veut retirer, et c'est par la comparaison que l'on fait ensuite du produit définitif avec ce que les essais ont annoncé, que l'on juge du succès des opérations que l'on a faites en grand.

Sous le rapport industriel, on ne doit jamais perdre de vue que, relativement à chaque opération, comme sur l'ensemble des procédés, le résultat doit toujours être une augmentation de valeur dans la matière qui a été traitée : or, pour arriver à ce but, il faut faire un choix d'agens et de moyens tels que les frais résultant de leur emploi soient toujours moindres que l'accroissement de prix qui a lieu après le travail. C'est pour cela que l'on doit chercher à employer les matières premières qui coûtent le moins ; on doit également diminuer les frais de main-d'œuvre, et les réduire à ce qui est indispensable, en substituant les machines au travail immédiat des hommes, toutes les fois que cela est possible. Ainsi chaque opération doit être soumise à un calcul économique, qui en fera connoître les avantages ou les inconvéniens financiers. C'est une nécessité impérieuse, et hors de laquelle il ne peut exister aucune fabrique ni aucune entreprise industrielle, que celle de travailler avec bénéfice ; et la métallurgie peut, moins que tout autre art, s'y soustraire, parce que les substances qu'elle fournit au commerce sont l'objet d'une grande concurrence, et que par là leurs prix sont toujours fixés à un taux qu'il n'y a aucun moyen d'élever.

La métallurgie, comme science, doit présenter la description raisonnée de tous les procédés utiles, les comparer entre eux et avec les indications de la chimie ; donner les moyens de choisir les meilleurs et les moins coûteux, eu égard aux circonstances particulières dans lesquelles on se trouve : elle doit faire connoître, sous tous leurs rapports, les agens

chimiques que l'on est dans le cas d'employer, les machines dont on se sert; enfin tous les appareils ou fourneaux qui sont utiles, et qui sont très-variés dans les diverses opérations. On donne le nom d'*usines*, en général, aux établissemens dans lesquels on réunit tous les moyens de travail et tout ce qui est nécessaire pour une grande fabrication de produits métallurgiques. On donne le nom de *fonderies* aux usines où l'on fond les minérais de plomb, cuivre, argent, étain, fer, etc.

Les changemens que l'on veut faire éprouver aux substances minérales ne peuvent être produits qu'en raison de leurs propriétés ou de celles de leurs composans, et par un emploi convenable des forces mécaniques ou chimiques.

Les propriétés physiques auxquelles on doit donner le plus d'attention, parce qu'il est de toute nécessité d'y avoir égard dans un grand nombre d'opérations, et qu'elles sont le fondement de quelques séparations utiles, sont :

a) La pesanteur spécifique, qui est, comme on sait, une des propriétés caractéristiques des métaux utiles, et qui se retrouve souvent encore très-prononcée dans leurs composés.

b) La cohésion plus ou moins forte des parties qui composent les substances minérales, et qui forme toujours un obstacle plus ou moins grand aux actions chimiques. La désagrégation, qui s'opère tantôt mécaniquement, tantôt à l'aide de la chaleur et en liquéfiant les matières, est souvent indispensable pour obtenir certains résultats.

c) On doit considérer aussi l'état solide, liquide ou aériforme dans lequel se présentent ou doivent agir les uns sur les autres les corps qui seront soumis à des traitemens métallurgiques : la facilité avec laquelle les diverses substances composantes ou les composés perdent ou prennent ces différens états, se fondent ou se réduisent en vapeur, exerce une très-grande influence sur le choix des moyens qui sont employés pour opérer certains changemens chimiques, et

sur l'effet de ceux-ci. On profite bien souvent de la différence de température nécessaire pour liquéfier ou volatiliser des corps différens qui se trouvent mêlés ou combinés ensemble, pour en faire la séparation : c'est un des procédés les plus usités de la métallurgie.

d) Enfin, lorsqu'il s'agit d'opérer des changemens dans la nature intime, c'est-à-dire, dans la composition des corps, il faut bien connoître les affinités des composans entre eux et chercher quels agens on peut employer pour atteindre le but qu'on se propose : nous reviendrons sur les agens chimiques qui sont employés en métallurgie, les conditions d'après lesquelles on les choisit, et les moyens de les mettre en action.

L'exposé des généralités métallurgiques que nous offrons ici, est partagé en quatre chapitres : le premier est relatif aux préparations des minérais et aux essais que l'on en fait pour connoître leur richesse ; le second contient des détails sur les agens chimiques le plus ordinairement employés en métallurgie ; le troisième renferme une description des appareils de combustion, appelés fourneaux ; enfin, le quatrième fait connoître quelques opérations de métallurgie qui sont communes à un grand nombre de minérais.

CHAPITRE I.er

Des minérais, de leur préparation et de leur essai.

On donne le nom de *minérai* à toute substance minérale naturelle qui contient un ou plusieurs métaux susceptibles d'en être retirés en grand et par des moyens économiques : il ne suffit pas qu'un composé renferme des métaux pour constituer un minérai ; il faut de plus qu'il existe en assez grande abondance pour être exploité et former l'objet d'un travail de fabrique, et que le métal ou les métaux que l'on pourroit en extraire s'y trouvent en quantité suffisante et dans un tel état de combinaison que leur préparation puisse être avantageuse. C'est ainsi que des composés ferrugineux qui ne contiennent du fer qu'au-dessous de 12, 15 et même 18 centièmes, ne peuvent être considérés comme des minérais, non plus que les masses de fer arsénical et de pyrites qui, bien que beaucoup plus riches en métal, ne pourroient cependant donner, par une fabrication économique, du fer propre aux usages ordinaires.

Une substance qui contient plusieurs métaux susceptibles d'en être retirés en fabrique, peut être regardée comme minérai par rapport à l'un ou à l'autre, et elle est ordinairement désignée par le nom du plus abondant, ou de celui qui lui donne sa plus grande valeur : c'est ainsi que *le cuivre gris* exploité pour être fondu ou soumis à l'amalgamation, est regardé, suivant sa richesse en argent, tantôt comme un minérai de cuivre tenant argent, tantôt comme un minérai d'argent.

D'un autre côté, certains produits de fourneau, qui contiennent beaucoup de métal que l'on en extraira utilement, et qui seront souvent soumis aux mêmes opérations que les minérais, ne prennent jamais cette dernière dénomination.

Les matières métallifères qui sortent des mines, et après un triage assez grossier, sont déjà des minérais : on leur fait

subir diverses opérations préliminaires à leur entrée dans les magasins, et surtout à leur traitement dans les fourneaux de fonte : on les appelle *préparations*, parce qu'en effet elles ont pour objet de les disposer aux procédés métallurgiques, ou de rendre ceux-ci plus faciles, c'est-à-dire moins longs et moins coûteux.

On distingue deux espèces de préparations : l'une dite *mécanique*, à cause des moyens qu'elle emploie et du résultat qu'elle procure, consiste dans les procédés par lesquels on concasse et l'on pulvérise les minérais, et dans les lavages qu'on leur fait subir pour en séparer la gangue ou les matières terreuses mélangées, afin de concentrer les parties métalliques, etc.

Une autre sorte de préparation, dite *chimique*, a pour objet de séparer, par le moyen du feu, diverses substances volatiles qui se trouvent combinées dans les minérais, et dont il convient de les débarrasser, du moins en partie, avant de chercher à obtenir le métal qu'ils contiennent. Nous en parlerons après avoir fait connoître la nature et l'emploi des combustibles et des fourneaux.

Enfin, une opération indispensable dans beaucoup de circonstances, c'est de reconnoître, par des moyens simples et peu coûteux, par ce qu'on appelle des *essais*, la quantité de métal que contiennent les diverses sortes de minérais que l'on peut avoir à traiter.

Nous aurons donc deux sections:

1.re Section. *La préparation mécanique* des minérais, comprenant *le triage*, *le bocardage* et différentes espèces *de lavages*.

2.e Section. L'essai des minérais, comprenant ceux *mécaniques*, c'est-à-dire par le lavage; *les essais par la voie sèche*, et *les essais par la voie humide*.

1.[re] SECTION.

De la préparation mécanique des minérais.

§. 1.[er] Le premier *triage* a lieu dans l'intérieur des souterrains, et consiste à séparer les morceaux de roches qui paroissent ne pas contenir du tout de parties métalliques, de ceux qui en renferment plus ou moins : on s'arrête à l'apparence des surfaces extérieures, lorsqu'elles ne sont pas trop salies par la boue ou la poussière ; on a aussi égard au poids des morceaux.

Les matières sorties au jour subissent un autre triage plus ou moins soigné, suivant la valeur du métal qu'elles renferment : cette opération consiste à casser à la main le minérai, en morceaux plus ou moins gros (ordinairement comme le poing), afin de rejeter tout ce qui ne contient point de métal, et même les morceaux qui en renferment trop peu pour être traités avec avantage. Il y a ordinairement auprès des ouvertures par lesquelles on sort les minérais des fosses, un atelier disposé pour le cassage et le triage. Dans une salle couverte, ou sous un hangar, se trouvent des banquettes élevées et partagées en cases, dont chacune est garnie à son fond d'une plaque épaisse de fonte de fer ; c'est sur cette plaque que de vieux ouvriers, des femmes ou des enfans brisent les minérais avec le marteau à main, et les trient morceau par morceau. On sépare ordinairement en trois parties les matières soumises au triage : 1.° la roche ou gangue stérile, qui est rejetée ; 2.° le *minérai à bocard*, celui qui présente un mélange trop intime de roche et de matière métallique pour qu'on puisse les séparer par le cassage et triage ; 3.° enfin, le minérai pur, ou du moins très-riche, qu'on appelle mine [1] de triage, *mine*

---

1 Peut-être convient-il de faire remarquer ici que l'on emploie quelquefois le mot MINE pour celui de minérai, quand on parle de la fonte des mines, etc. : il faut éviter cette locution vicieuse.

grasse. Il reste sur les places de triage beaucoup de menus débris qui pourroient former une quatrième sorte de minérai, puisqu'on les traite d'une manière particulière, par le criblage, ainsi que nous le dirons tout à l'heure.

Le placement de morceaux plus ou moins riches dans telle ou telle classe, est relatif à la valeur du métal contenu, eu égard aux dépenses nécessaires pour l'en extraire : c'est ainsi que, dans certaines exploitations de plomb, on rejettera les morceaux de gangue que l'on juge à l'œil contenir encore au moins 3 p. 100 de galène, et cela parce que l'on sait que l'on en perdroit la plus grande partie par les lavages qu'il faudroit lui faire éprouver pour en séparer les 90 centièmes de gangue, et que ce qui resteroit n'en paieroit pas les frais.

§. 2. Les opérations très-simples du triage sont communes à presque tous les minérais ; mais il est d'autres préparations qui exigent plus d'art, de soins et de dépenses, et que l'on n'emploie dans leur dernière perfection qu'à l'égard des minérais des métaux qui ont une certaine valeur, comme ceux de plomb, d'argent, etc. Il s'agit *du lavage* des minérais.

Les lavages les plus simples et les moins dispendieux sont ceux auxquels on soumet les minérais de fer, et principalement ceux d'alluvions, qui se trouvent déposés près la surface de la terre en grands et en petits fragmens agglutinés. Il est souvent utile de les nettoyer pour pouvoir faire ensuite le triage des parties tout-à-fait terreuses, qui seroient nuisibles dans les fourneaux.

Ce lavage grossier est souvent exécuté par des hommes qui remuent, au milieu d'un courant d'eau, et avec des *râbles* et des pelles en fer, le minérai qu'on a placé à cet effet dans des caisses ou bassins en bois ou en pierre.

Dans d'autres lieux, on fait exécuter ce lavage plus économiquement par une machine que l'on nomme *un patouillet.* On remplit du minérai à laver une auge en bois ou en fonte,

dont le fond est courbe, et dans l'intérieur de laquelle se meuvent des bras ou espèces d'anses de fer fixées à l'arbre d'une roue hydraulique : cette auge est d'ailleurs constamment pleine d'eau, qui se renouvelle en entraînant les terres que le mouvement de la machine et le frottement qui en résulte entre les parties du minérai font détacher de celles-ci. Lorsque le lavage est terminé, on enlève une des parois latérales de l'auge, et le courant entraîne le minérai dans un bassin plus spacieux, où il subit une sorte de triage; souvent même il est ensuite passé au crible de différentes manières.

Cette machine n'est employée que pour les minérais de fer ordinairement assez peu précieux pour que l'on ne craigne pas d'en perdre les parties les plus légères.

§. 3. *Bocardage.* — Avant de parler du lavage des minérais de plomb, argent, cuivre, etc., il convient d'indiquer les moyens par lesquels on les réduit en poudre plus ou moins fine, ce qu'on appelle les bocarder, du nom que porte la machine qui sert à cet usage, et qui se nomme un *bocard.* Son utilité ne se borne pas à préparer des minérais; on la trouve dans presque toutes les fonderies, où elle sert à piler des argiles, du charbon, des scories, etc. Un bocard ou machine à piler (pl. ci-jointe, fig. 2) consiste en plusieurs pièces de bois mobiles (A), placées verticalement, et maintenues dans cette position entre des coulisses de charpente (*aa*). Ces pièces sont armées à leur extrémité inférieure d'une masse de fer (*m*). Un arbre (B), mu par l'eau, et tournant horizontalement, accroche ces espèces de pilons au moyen de parties saillantes qu'on appelle *cames* (*c*), qui entrent dans une échancrure (*oo*) du pilon. Ceux-ci sont soulevés successivement, et retombent dans une auge longitudinale (*hh*), creusée dans le sol, et dont le fond est garni ou de plaques de fonte ou de pierres dures; c'est dans cette auge, et au-dessous des pilons, que le minérai à bocarder se rend en tombant d'une trémie que l'on entretient constamment remplie.

L'auge, fermée latéralement par deux cloisons, renferme trois ou quatre pilons; c'est ce qu'on appelle *une batterie :* ils sont disposés de manière que leur soulèvement, comme leur chute, se fasse à des intervalles de temps égaux.

Ordinairement un bocard est composé de plusieurs batteries (deux, trois ou quatre), et la disposition des cames sur l'arbre de la roue hydraulique est telle qu'il y a constamment un même nombre de pilons soulevés à la fois, ce qui est important relativement à l'uniformité qu'il est convenable de conserver au mouvement de la machine.

On bocarde à sec, c'est-à-dire sans faire arriver d'eau dans l'auge, les matières qui ne doivent point être soumises à un lavage subséquent, et souvent les minérais riches et dont on craint de perdre les parties les plus légères.

Le plus ordinairement, surtout pour les minérais de plomb, d'argent, de cuivre, etc., on fait traverser l'auge du bocard par un courant d'eau plus ou moins rapide, et qui, en entraînant les matières pilées, les dépose à diverses distances, par ordre de grosseur de grain et de richesse; c'est un premier lavage qui a lieu en sortant de dessous les pilons.

Dans le bocardage à sec, la finesse de la poussière dépend du poids des pilons, de la hauteur de leur chute, et du temps pendant lequel on laisse la matière dans l'auge; mais, dans le bocard qui reçoit un courant d'eau, le séjour des matières est plus ou moins long, suivant qu'on leur donne plus ou moins de facilité pour en sortir : tantôt ces matières sortent de l'auge par-dessus ses parois longitudinales, et la hauteur de la ligne qu'elles doivent franchir influe sur la grosseur du grain; tantôt on fait sortir l'eau et les matières pilées qu'elle entraîne, à travers les vides d'une grille, et alors il s'opère une espèce de criblage. Il y a, au reste, quelques différences dans les résultats de ces deux méthodes. Enfin la vîtesse et la quantité d'eau qui traverse l'auge influent encore sur la sortie plus ou

moins prompte des matières pilées, et par conséquent sur les produits du bocardage.

La grosseur des particules de minérai pilé étant toujours assez différente en raison des duretés fort variables des matières qui les composent, on trouve le moyen de les classer, de les distribuer à peu près par ordre de grosseur et de pesanteur spécifique, en faisant circuler l'eau qui sort de l'auge du bocard et chargée de matières, dans un système de canaux qu'on appelle *labyrinthe*, où elle dépose successivement, à mesure qu'elle perd de sa vîtesse, les parties terreuses et métalliques qu'elle entraîne, et qui y demeurent suspendues par adhérence. Ces parties métallifères, surtout lorsqu'elles ont une grande pesanteur spécifique, comme la galène, se déposeroient dans les premiers conduits, si, en raison de leur dureté, ordinairement beaucoup moindre que celle de la gangue, elles ne se réduisoient pas en poudre plus fine que celle-ci, et en grande partie par très-petites lames qui contractent beaucoup d'adhérence tant avec le liquide qu'avec les matières terreuses; on est donc obligé de les aller chercher jusque dans les parties les plus ténues de la gangue pulvérisée, qu'on appelle *bourbe*.

On distingue deux manières de conduire le bocardage; elles sont relatives à la grosseur des grains que l'on veut obtenir et que l'on détermine préalablement d'après la nature du minérai, celle de sa gangue, sa richesse, etc. Nous avons déjà indiqué les moyens à l'aide desquels on pouvoit faire varier le résultat du bocardage, savoir, le poids des pilons, leur levée, la vîtesse même de leur mouvement; d'un autre côté, l'élévation de la fente par laquelle doivent passer les matières pilées, ou bien le diamètre des trous de la grille, leur distance, la quantité de l'eau affluente, sa vîtesse, etc.

Le bocardage peut être disposé pour obtenir beaucoup de gros grains, ce qu'on connoît sous le nom de *sable* (c'est ce qu'on appelle en allemand *ræsche pochen*), ou bien on cherche à pro-

duire beaucoup de poussière fine qu'on appelle *schlamm* (l'opération prend alors le nom *zæhen pochen*). On donne généralement le nom de *schlich* aux minérais pilés, soit qu'ils aient été lavés ou non, quoique beaucoup plus souvent dans le premier cas. Ces matières sont alors disposées pour subir les *lavages*, dont nous parlerons incessamment.

Pour terminer tout ce qui est relatif à la pulvérisation des matières minérales, nous ajouterons que, quand on a besoin d'atteindre à une ténuité extrême, d'avoir de la poussière extrêmement fine, comme pour les minérais qui doivent être soumis à l'amalgamation, on les fait passer sous des meules comme le blé dans les moulins ordinaires; après la mouture ils sont blutés et forment une espèce de farine.

Lavages des minérais.

§. 4. Les minérais pilés sous le bocard sont ensuite soumis à des opérations très-délicates, longues et coûteuses, que l'on nomme *lavages :* leur but est de séparer mécaniquement les matières terreuses de la partie métallique, qui doit alors avoir une pesanteur spécifique bien plus grande; car sans cela le lavage ne seroit plus praticable.

L'intermédiaire dont on se sert pour rendre plus sensible la différence de pesanteur spécifique, et pour entraîner les matières les plus légères, est l'eau, que l'on fait couler avec plus ou moins de vîtesse et d'abondance au milieu du schlich étendu sur une table plus ou moins inclinée.

Mais, comme cette opération entraîne toujours, outre une dépense assez notable, une perte plus ou moins grande de métal, il y a encore à calculer quel est le degré de richesse au-dessous de laquelle il n'y a plus de profit à exécuter le lavage, et d'un autre côté, quel est le point de purification du schlich auquel il faut s'arrêter; parce qu'on perdroit trop de métal comparativement à ce qu'il en coûte pour fondre une petite portion de gangue de plus. Il ne peut évidemment y

avoir de règle à cet égard, puisque les élémens de ces calculs varient pour chaque usine.

§. 5. Avant de décrire les diverses méthodes de lavage, il convient de parler du criblage, qui a pour objet, de même que le labyrinthe qui succède au bocard, de distribuer et de séparer les minérais (qui n'ont point passé au bocard à eau) par ordre de grosseur de grain. On pratique cette opération particulièrement sur les débris de mine et sur ceux provenant du cassage du minérai. On met ces matières dans un crible ou espèce de tamis circulaire ou carré, dont le fond est formé d'une grille au lieu d'une plaque de métal percée de trous; on plonge ce crible rapidement et à plusieurs reprises dans une cuve ou bassin rempli d'eau. Ce liquide entre par le fond, soulève les particules minérales, les sépare et les tient un instant suspendues, après quoi elles retombent en suivant à peu près l'ordre de leurs pesanteurs spécifiques. et se classent ainsi avec une certaine régularité. Le crible est quelquefois plongé par l'effort immédiat du laveur; quelquefois il est suspendu à une bascule que fait mouvoir l'ouvrier. Pour que le criblage s'opère bien, il faut que le crible ne reçoive qu'un seul mouvement, celui de bas en haut; alors le minérai se sépare de sa gangue, et s'il y en a de diverses pesanteurs spécifiques, il forme, dans le crible, autant de couches distinctes, et l'ouvrier les enlève facilement avec une spatule, en rejetant la partie supérieure, lorsqu'elle est trop pauvre pour être repassée une seconde fois. On nomme cette opération *criblage à la cuve* ou criblage par dépôt.

Remarquons que, pendant le criblage, les particules qui peuvent passer à travers les trous du fond tombent dans la cuve et s'y déposent; on les recueille ensuite pour les soumettre au lavage, lorsqu'elles en valent la peine.

Quelquefois, comme à Poullaouen, les cribles sont coniques et tenus, au moyen de deux anses, par un seul ouvrier : au lieu de recevoir un seul mouvement comme dans la méthode

précédente, le cribleur lui imprime successivement des mouvemens très-variés et déterminés par la pratique. Leur but est de séparer les parties pauvres du minérai des parties plus riches, afin de soumettre les premières au bocardage.

Parmi les criblages et lavages que l'on fait subir aux minérais, il faut distinguer comme utiles et ingénieux, ceux qui sont pratiqués à l'aide de grilles de fer, dites *grilles angloises*, et les *laveries à gradins* de Hongrie. Ces moyens de débarrasser les minérais des matières terreuses pulvérulentes, consistent à les placer, au sortir de la mine, sur des grilles, et à y amener ensuite un courant d'eau, qui fait passer à travers les barreaux les plus petits morceaux et entraîne les parties tout-à-fait pulvérulentes, qui sont reçues dans des bassins, où elles séjournent assez long-temps pour s'y déposer. Le lavage à gradins est une extension de celui-ci: il suffit, pour s'en faire l'idée, d'imaginer une suite de grilles placées successivement à différens niveaux [1], de manière que l'eau, arrivant sur la plus élevée, où se trouve déposé le minérai à laver, en entraîne une partie à travers cette première grille sur la seconde, qui est plus serrée, de là sur une troisième, et enfin dans des labyrinthes ou bassins, où se dépose ce qu'il y a de plus fin.

§. 6. Tous ces moyens ne produisent qu'une séparation assez incomplète de la gangue, et d'ailleurs ils ne sont pas applicables aux minérais en poussière fine, aux bourbes déposées dans les labyrinthes des bocards. A mesure que les matières deviennent plus fines, elles contractent plus d'adhérence entre elles et avec l'eau, de sorte que leur purification devient plus difficile. C'est alors qu'il faut employer le lavage sur des tables et en commençant par celles qui offrent les manipulations les plus simples: ce sont les tables dites *caisses allemandes* ou *caisses à tombeau* (fig. 3), qui servent

---

1 Laveries à gradins. Voyages métallurgiques de Jars, t. II, p. 165 et suiv.

principalement au lavage du sable qui sort de dessous les pilons du bocard. Ces caisses sont rectangulaires, ayant environ 5^m de longueur, sur $0^m,50$ de largeur : les rebords sont élevés de $0^m,50$; elles sont inclinées d'environ $0^m,40$; à leur extrémité supérieure (que l'on peut nommer chevet) se trouve placée une espèce d'auge ou de boîte (B) sans rebord du côté de la caisse, et sur laquelle on dépose le minérai à laver; au-dessous de cette auge passe un conduit (*a*) qui verse, par le rebord (*b*) du chevet de la caisse, une nappe d'eau qui peut s'écouler par le trou percé dans le rebord (*c*) du pied de la caisse. Le laveur fait tomber sur la table une partie du minérai placé dans l'auge ; il ramène ensuite continuellement avec un rouable le minérai que l'eau entraîne, de manière qu'il n'y ait que la partie terreuse et le minérai fin qui soient enlevés. Ces dernières matières se déposent suivant l'ordre de leurs pesanteurs spécifiques dans les canaux (C) qui font suite à la caisse.

Pour parvenir à une séparation plus complète des matières terreuses, il faut laver les minérais fins sur des tables moins inclinées, où le courant d'eau, moins rapide et plus étendu, permette de faire plus complétement, et avec le moins de perte possible, la séparation de la gangue. Il y a plusieurs sortes de tables à laver qui sont employées ou successivement pour le même minérai, ou séparément pour les diverses espèces de schlich; nous en décrirons deux genres. Le premier comprend les tables immobiles dites *tables dormantes*, et le second, les tables mobiles nommées *à percussion* ou *à secousses*.

Les tables dormantes (fig. 4, I, II) sont en effet des tables à rebord, longues d'environ 4 à 5 mètres, larges de 15 à 18 décimètres et de 12 à 15 centimètres d'inclinaison. A leur tête est placée une planche triangulaire à rebord (A). On fixe en face de l'angle du sommet une petite planche (*a*) qui ne le remplit pas, et sur chaque côté un rang de petits prismes (*bb*) triangulaires en bois; cet espace se nomme la

cour. Au-dessus est placée obliquement la caisse qui renferme les minérais à laver [1], et encore au-dessus passe le canal (D) qui conduit l'eau sur ce minérai, le délaie, l'entraîne et le répand sur la cour : l'eau qui le chasse est d'abord divisée en deux filets par les prismes triangulaires, ce qui forme une nappe d'eau qui s'étend sur la table en emportant les parties les plus légères. Pour que cette séparation se fasse le plus exactement possible, le laveur ramène le minérai avec un rouable vers la tête de la table; enfin, l'eau chargée de particules terreuses, se rend dans les caisses (G) et les canaux (H) placés au bas de la table. La boue des premiers canaux est reprise pour être privée, par un dernier lavage, des particules métalliques qu'elle peut encore contenir. La poudre minérale lavée par ce moyen porte particulièrement le nom de *schlich*.

On couvre quelquefois ces tables de toile ou de drap : on a employé surtout ce moyen pour les minérais qui renferment de l'or, parce qu'on a pensé que les fils du drap ou de la toile retiendroient plus sûrement les particules les plus fines de ce métal; mais il paroît que ce moyen ne mérite aucune confiance et qu'il produit même un schlich très-impur.

On emploie dans certaines mines (au Hartz, etc.) des *tables* dites *à balais* (fig. 4, I, II). Vers la partie supérieure est un canal (D) par lequel arrive le minérai chassé par l'eau; pour qu'il ne se dépose pas, l'eau est continuellement agitée par un moulinet (M); elle descend sur la place triangulaire (A) et se répand de là sur la table (B), tandis que de l'eau pure, amenée par un autre canal (C) arrive sur la table par-dessous (*d*) cette place pour délayer et laver le minérai. Vers le pied de cette table est une fente (*e*) que l'on ferme à volonté et au-dessous de laquelle est un premier réservoir (F); au bout de la table est un second réservoir (G); enfin, à

1 Elle n'est point dans la figure que nous employons, et qui appartient aux tables à balais qu'on va décrire.

l'extrémité de la table est le canal (H) des rebuts. Lorsque l'eau a entraîné dans ce canal la poussière terreuse mêlée au minérai, le schlich lavé et assez pur reste étendu sur la table, depuis le chevet jusqu'au pied ; alors on commence à balayer celui qui recouvre la dernière partie (E), et on le fait tomber dans le second réservoir (G); on balaie ensuite celui qui est sur la partie supérieure (B) de la table, et on le fait tomber, par la fente (*e*) qu'on vient d'ouvrir, dans le premier réservoir (F). Les schlichs du second réservoir (G) et les rebuts du canal (H) sont lavés de nouveau.

§. 7. La seconde classe renferme les *tables mobiles* ou *à percussion* (fig. 5). La table elle-même (A) est construite à peu près comme les tables fixes: elle a environ 4 mètres de long et 13 décimètres de largeur : ses rebords ont à peu près 2 décimètres dans la partie haute; mais elle est suspendue, comme on le voit dans la figure, par ses quatre angles au moyen de chaînes (*dd*, etc.). Ces chaînes, dans l'instant du repos, c'est-à-dire lorsque le chevet de la table est appuyé contre la charpente qui est derrière lui, sont inclinées du chevet au pied, et tendent par conséquent à ramener la table vers cette charpente.

Au-dessus et en arrière du chevet de la table est une plate-forme (B) fixe, qui porte un plan triangulaire incliné et à rebord (*c*) sur lequel sont attachées les petites pièces de bois saillantes (*bb*) que nous avons décrites dans les tables fixes. Au-dessus de ce plan est placée la caisse (D) qui renferme le minérai; son fond est oblique: elle est séparée elle-même en deux compartimens par une cloison amovible (*l*), percée d'un trou (*t*) à son bord inférieur. On met le minérai à laver dans le compartiment supérieur (1): l'inférieur (2) reste vide. Une rigole (R) passe au-dessus de ces caisses, et y amène l'eau, qu'elle conduit par deux tuyaux (*rr*); l'un (*r*) la verse dans le compartiment du minérai, l'autre dans le compartiment vide. Le minérai délayé est entraîné sur la table, il s'y étend en

nappe mince et uniforme, comme nous l'avons dit pour les tables fixes.

Mais, pendant qu'il descend, la table reçoit à son chevet, au moyen d'une machine (M) qui y est placée, une impulsion assez douce qui la porte en avant. Cette impulsion cessant, elle revient à sa première position, et éprouve, en frappant contre la pièce (Z), un choc violent, et ainsi de suite.

Ces mouvemens contraires ont pour objet : 1.° de séparer les particules terreuses et les particules métalliques qui pourroient être adhérentes, en leur communiquant des vîtesses qui sont inégales et en raison de leurs densités différentes; 2.° de ramener vers le chevet de la table les parties métalliques qui sont les plus pesantes.

Nous n'avons pas décrit le mécanisme qui imprime à la table les secousses dont nous venons de parler, les figures (5, I, III) le font suffisamment comprendre. On modifie, en raison de l'espèce de minérai que l'on doit laver, les différentes circonstances qui influent sur le lavage. Ainsi l'inclinaison de la table varie de 2 à 15 centimètres. L'eau y est répandue tantôt en filets déliés, tantôt à plein tuyau, en sorte qu'il y coule jusqu'à deux pieds cubes d'eau par minute. Le nombre des secousses qu'elle reçoit varie de 15 à 36 par minute. Elle s'écarte de sa position primitive tantôt de 2 centimètres, tantôt de 20. Le gros sable exige en général moins d'eau et moins d'inclinaison dans la table que le sable fin et visqueux.

Lorsqu'on s'est assuré que le schlich est complétement lavé, et que l'eau qui s'écoule ne contient plus de minérai, on la laisse s'échapper par le canal qui est à l'extrémité de la table; mais, lorsqu'on craint qu'elle ne renferme encore quelques particules métalliques, on couvre ce canal, et l'eau se rend dans la caisse (H), où elle dépose tout ce qu'elle tenoit en suspension : on soumet alors le dépôt à un nouveau lavage.

§. 8. Les préparations mécaniques que subissent les minérais, ont lieu ordinairement à leur sortie de la mine, et

sans aucune autre opération intermédiaire. Cependant il arrive quelquefois que, pour diminuer la dureté de certaines gangues et de quelques minérais de fer, on leur fait subir une calcination préalable à leurs cassage et bocardage.

Quand il s'agit du lavage de certains minérais, opération qui est fondée sur la différence des pesanteurs spécifiques, il peut arriver qu'en changeant un peu l'état chimique des substances qui composent le minérai, on parvienne plus aisément à séparer les parties terreuses et autres matières étrangères. C'est dans cette vue que l'on fait subir aux minérais d'étain un grillage qui, séparant l'arsenic et oxidant le cuivre qui s'y trouve mêlé, donne le moyen d'obtenir ensuite, par le lavage, de l'oxide d'étain beaucoup plus pur qu'on n'auroit pu le faire sans cela. En général, ces cas sont assez rares, et presque toujours le lavage suit le triage et le bocardage, et le grillage vient ensuite, lorsqu'il doit être employé.

§. 9. Nous allons terminer ce que nous avions à dire sur les diverses préparations mécaniques des minérais, par quelques considérations sur la manière dont ils sont livrés aux fonderies.

Les diverses préparations mécaniques s'exécutent ordinairement auprès des mines d'où l'on a sorti les minérais; elles sont communément réunies aux travaux d'exploitation et sous la même direction. Les schlichs et minérais triés qui en proviennent, sont ensuite fondus sur les lieux, ou transportés pour être vendus aux fonderies.

L'Allemagne nous présente plusieurs exemples de *fonderies centrales* régies pour le compte du gouvernement, qui possède presque toujours les forêts où l'on prend le combustible: on y reçoit, à des prix fixés par un tarif invariable, des minérais de toute espèce (non compris ceux de fer), qui forment l'objet d'exploitations nombreuses situées dans le voisinage, et appartenant à diverses compagnies. L'utilité de ces sortes de fonderies est bien grande et bien évidente: elles favorisent puissamment l'exploitation des mines dont le minérai

est le moins riche, et pour lequel on ne voudroit pas faire tous les frais que nécessiteroit l'établissement d'une fonderie.

Le paiement des minérais ou schlichs, plus ou moins bien lavés, se fait d'après des essais dont nous indiquerons plus tard le nombre et la nature; mais on peut entrevoir que les mélanges divers des minérais entre eux, leur richesse plus ou moins grande en plomb, cuivre et argent, donnant lieu à des opérations plus ou moins compliquées, il importe beaucoup de les bien reconnoître avant de les acheter; c'est pour cela que la *livraison* des minérais est un objet auquel on donne beaucoup d'attention en Allemagne. Nous ne devons pas nous y arrêter long-temps, et nous indiquerons seulement ce qui est relatif à l'évaluation de l'humidité qui se trouve contenue dans les minérais; car il est évident que, si l'on recevoit sans déduction de poids le minérai humide, on trouveroit un déchet très-notable lorsqu'il seroit sec et prêt à passer au fourneau: il y auroit une perte réelle pour la fonderie.

Autrefois on admettoit généralement, dans les usines du *Hartz*, que 33 quintaux de schlich humide donnoient 30 quintaux de schlich sec, et l'on n'avoit égard à l'humidité des schlichs livrés, que par ce mode arbitraire de déduction. Aujourd'hui un essayeur d'humidité détermine, par une expérience directe, combien chaque quintal de schlich livré représente de schlich sec. Pour cela, sur chaque quintal, qui est pesé avant d'entrer dans le magasin et avant d'être placé dans une case, cet essayeur met en réserve quelques poignées de matière, qui servent aux essais subséquens, tant sous le rapport de l'humidité que sous celui de la teneur en métal.

Après avoir mêlé ensemble les poignées d'épreuves qui ont été réservées sur chaque quintal, l'essayeur d'humidité prend, dans le mélange qui correspond à l'une des cases du magasin, autant de fois un quintal fictif de schlich humide ($\frac{1}{4}$ d'once, poids de Cologne), qu'il y a de quintaux réels de schlich dans cette case; il fait sécher à un feu doux, sur une feuille de tôle, la

petite quantité de schlich qui représente tout le contenu de la case ; il pèse ensuite cette petite quantité, et il tient note de la diminution du poids : de là on conclut l'humidité à soustraire.

Le quintal fictif pour ce genre d'essai est divisé en seize parties : depuis $\frac{1}{16}$ jusqu'à $\frac{7}{16}$, on ne soustrait rien de la quantité livrée ; mais depuis $\frac{8}{16}$ jusqu'à $\frac{16}{16}$ on soustrait *un* quintal entier de la quantité de schlich livrée. Ainsi, lorsqu'on a livré 39 quintaux de schlich, et que l'essai a fait connoître qu'il y avoit 6 quintaux $\frac{4}{16}$ d'humidité, on ne soustrait que 6 quintaux de la quantité livrée ; mais, s'il y avoit eu 6 quintaux $\frac{9}{16}$ d'humidité, on auroit soustrait 7 quintaux, et réduit la quantité livrée à 32 quintaux. C'est sur les mêmes poignées de schlich qui ont été mises en réserve pour l'humidité, que l'on prend de quoi faire les essais docimastiques qui déterminent la teneur en métal.

2.e SECTION.

De l'essai des minérais.

§. 1.er *Les essais* doivent occuper une place importante dans l'instruction métallurgique, et il y a lieu de croire que la connoissance n'en est pas suffisamment répandue, puisque la pratique en est si souvent négligée dans les usines. Non-seulement il faut répéter fréquemment les essais des minérais employés, parce que leur nature est sujette à varier ; mais encore les divers produits des fourneaux doivent être soumis à des essais réitérés aux différentes périodes des opérations. Quand il s'agit de minérais qui contiennent de l'argent ou de l'or, on trouve dans les essais docimastiques, qui sont alors plus indispensables, un contrôle des opérations métallurgiques, et même une indication des quantités du métal précieux qu'elles doivent produire.

On désigne seulement par le nom d'*essais*, sous le rapport métallurgique, les moyens à l'aide desquels on reconnoît, dans une substance quelconque, non-seulement la présence

et la nature d'un métal, mais encore sa quantité évaluée en poids. Ainsi, les opérations qui ne conduisent pas à une détermination précise du métal exploitable, ne sont point rangées parmi les essais tels que nous les considérons; toutes les expériences que l'on fait avec le chalumeau, quoiqu'on en puisse tirer des indications fort utiles, non plus que l'usage de la pierre de touche, à l'égard de l'or, ne sont point des essais dans le sens où nous entendons ici ce mot.

On distingue trois sortes d'essais, qui peuvent être mis en pratique dans diverses circonstances, et avec plus ou moins d'avantage sur différens minérais; ce sont: 1.° l'essai mécanique; 2.° l'essai par la voie sèche; 3.° l'essai par la voie humide.

I. *Des essais mécaniques.*

§. 2. Ces sortes d'essais se réduisent à la séparation des substances mécaniquement mélangées dans les minérais, et s'exécutent par un lavage à la main, dans une petite *auge* alongée appelée *sébille*. Après avoir pulvérisé plus ou moins soigneusement les matières à essayer par ce procédé, on en met un poids déterminé dans cette petite auge avec un peu d'eau, et, à l'aide de certains mouvemens et de quelques précautions que l'on apprend par la pratique, on parvient à séparer assez exactement les matières les plus légères, les gangues terreuses des plus pesantes, c'est-à-dire des particules métalliques, et sans perdre sensiblement de ces dernières. On obtient ainsi un schlich plus ou moins pur, qui fait juger par sa qualité de la richesse des minérais essayés, et qui peut ensuite être soumis à des essais d'un autre genre qui isoleront tout-à-fait le métal. On pratique le lavage, comme essai, sur les sables aurifères, sur tous les minérais bocardés, et même sur les schlichs déjà lavés, pour apprécier le degré de pureté auquel ils sont parvenus. Les minérais d'étain, où l'oxide est souvent disséminé dans beaucoup de gangue terreuse, se prêtent avec avantage à ce

genre d'essai, parce que l'étain oxidé est très-pesant. On peut également employer l'essai mécanique dont nous venons de parler, à l'égard des minérais dont la partie métallique offre une composition constante, lorsque d'ailleurs ils possèdent une pesanteur spécifique un peu considérable. C'est ainsi que, les minérais de plomb sulfuré (galène) pouvant être réduits à du sulfure presque pur (à 1 ou 2 centièmes près) par un simple lavage exécuté avec adresse, on en conclura d'abord la richesse de ce minérai en galène pure, et par suite en plomb, puisque le sulfure naturel est toujours composé de 86,55 de métal avec 13,45 de soufre. Le sulfure d'antimoine, mêlé de gangue, peut être soumis au même genre d'essai, et le résultat en sera encore plus immédiat, puisque l'antimoine fondu (sulfure fondu) est versé dans le commerce après avoir été débarrassé de sa gangue par une simple fusion.

On se sert aussi de l'essai par lavage pour reconnoître si des scories ou produits quelconques de fourneaux contiennent des grains de métal qu'on en pourroit retirer par le bocardage et un lavage exécuté en grand, procédé assez employé à l'égard des scories de fer, d'étain ou de cuivre.

II. *Des essais par la voie sèche.*

§. 3. L'essai par la voie sèche a pour but de faire connoître la nature et la proportion des métaux contenus dans une substance minérale. Cependant, pour faire un bon essai, il faut absolument savoir quel est le métal que l'on veut retirer, et même, entre certaines limites, en quelle quantité se trouvent les substances étrangères : le plus ordinairement il ne s'agit que d'un seul métal à obtenir, si ce n'est dans le cas de certains minérais argentifères. L'examen minéralogique des substances à traiter suffit le plus souvent pour fournir des données à cet égard; mais on est toujours maître de varier les essais sous divers rapports, avant de s'arrêter à un résultat quelconque, et dans tous les cas on ne peut

compter que sur ceux qui ont été vérifiés par une double opération.

Ce genre d'essai, qui ne demande qu'un peu d'habitude et des appareils assez simples, est de nature à pouvoir être pratiqué couramment dans les usines[1]. Nous ne nous arrêterons pas ici à décrire les fourneaux et les ustensiles dont on se sert, parce qu'ils sont connus de tous ceux qui ont assez de pratique pour en faire usage.

Les essais par la voie sèche, qui se font dans des creusets par le moyen du feu, et souvent avec l'addition d'un fondant ou d'un agent quelconque de séparation, ont un avantage particulier relativement aux opérations des fonderies ; c'est qu'il y a bien des analogies entre ce qui se passe en grand et ce que l'on exécute en petit : cela va jusqu'à pouvoir déduire, de la manière dont l'essai a réussi avec tel ou tel fondant, à tel ou tel degré de chaleur, des indications souvent précieuses pour diriger le traitement du minérai en grand : c'est ce qu'on aura soin de faire remarquer plus particulièrement, lorsqu'il s'agira de l'essai des minérais de fer.

Nous exposerons successivement les moyens les plus exacts et les plus simples pour faire, par la voie sèche, les essais relatifs à chaque métal, en y ajoutant ce qu'il pourroit y avoir de plus simple et de plus facile à exécuter par la voie humide. Dans les fonderies qui achètent du minérai, ainsi que cela se voit en Allemagne, on est obligé de donner beaucoup d'attention aux essais, parce qu'ils servent à régler la valeur et le

1 Les procédés que nous indiquerons sont, en général, ceux employés en Allemagne. M. Berthier, ingénieur en chef des mines et professeur de docimasie à l'école royale de Paris, se propose de publier les perfectionnemens qu'il a ajoutés aux méthodes anciennes, et qui en rendent la pratique plus sûre, en même temps que la théorie en sera mieux comprise par le résultat de ses recherches : ce sera un véritable service rendu à l'art des mines.

prix que l'on doit donner des minérais livrés. Ces essais ne sont pas à beaucoup près sans difficultés, surtout lorsqu'il s'agit de minérais qui renferment plusieurs métaux utiles, et que l'on veut doser; tels sont ceux où se trouvent, en quantité notable, plomb, cuivre et argent mêlés ensemble.

Dans les fonderies centrales du Hartz, ainsi que dans celles de la Saxe, les schlichs qui sont livrés sont soumis à des essais docimastiques qui sont faits trois fois contradictoirement, et par trois personnes différentes, dont l'une opère dans l'intérêt des actionnaires des mines, l'autre dans l'intérêt de l'usine, et la troisième comme arbitre, en cas de dissidence. Si les deux premiers résultats d'essai diffèrent entre eux de $\frac{1}{2}$ loth ($\frac{1}{4}$ d'once) d'argent par quintal de schlich, les opérations sont recommencées; ce qui arrive rarement. Lorsque des trois essais l'un ne diffère des deux autres que de $\frac{1}{4}$ de loth d'argent par quintal, mais en plus relativement à l'un d'eux, et en moins relativement à l'autre, ce résultat moyen est adopté. Quant à la teneur du schlich en plomb, les résultats d'essais contradictoires peuvent présenter quelques différences, dont on prend alors la moyenne : ces différences tolérées sont de 3 livres pour le schlich qui contient environ de 12 à 30 pour 100 de plomb, et vont en croissant jusqu'à 6 livres pour ceux qui contiennent au-dessous de 55 pour 100 de ce même métal.[1]

Les essais forment, dans ces grandes fonderies, un objet important sous le rapport du temps qu'ils exigent et même de la dépense qu'ils occasionnent: c'est ainsi que, dans la seule usine de Franckenscharn, au Hartz, il faut que trois cents essais soient faits triples, tous les lundis, sans parler de divers essais de produits de l'usine qui ont lieu tous les jeudis. On employoit jadis pour cet objet des *flux* plus ou moins composés, et chaque essai coûtoit environ 1 fr. 50 cent. Au-

1 De la richesse minérale, tom. III, pag. 157.

jourd'hui tous ces essais se font plus simplement, par des moyens beaucoup moins coûteux, puisqu'ils ne coûtent chacun que 12 cent. $\frac{1}{2}$, terme moyen[1] : nous en examinerons plus tard le procédé.

III. *Des essais par la voie humide.*

§. 4. Les essais par la voie humide, qui ne se réduisent pas à des procédés fort simples, sont de véritables analyses chimiques, qui peuvent à la vérité s'appliquer avec beaucoup d'utilité, soit aux minérais, soit aux produits de fourneau, mais qu'on ne peut espérer de voir mettre en pratique dans les usines, à cause de la réunion d'appareils et de réactifs qu'ils exigent. Il faut d'ailleurs un chimiste exercé pour en obtenir des résultats sur lesquels on puisse compter. Cependant les directeurs de fonderies ne doivent jamais négliger les occasions qui se présenteroient de soumettre les matériaux sur lesquels ils travaillent, ainsi que leurs produits, à un examen chimique plus approfondi qu'ils ne peuvent le faire par l'emploi seul de la voie sèche. Un des plus grands avantages de semblables recherches, c'est de faire connoître et évaluer les très-petites quantités de substances nuisibles qui altèrent la malléabilité des métaux, qui leur donnent diverses mauvaises qualités, et sur la cause desquelles on est le plus souvent dans l'erreur, ou du moins dans l'incertitude. Il est même vrai de dire que l'analyse chimique, bien appliquée à la métallurgie, ne peut manquer d'amener des perfectionnemens remarquables dans les procédés.

Nous n'entendrons par essais chimiques ou essais par la voie humide, que ceux qui sont très-faciles à pratiquer.

Essais de fer.

§. 5. Les minérais de fer qui contiennent de l'eau et de l'acide carbonique, doivent en être débarrassés par une calcination

1 De la richesse minérale, tom. III, pag. 157.

préalable, et l'on constate la perte qu'ils éprouvent dans cette opération.

Quelques minérais fort riches et presque sans mélange de gangue terreuse, se présentent comme des oxides purs, et peuvent être réduits immédiatement, et même en morceaux assez gros, par cémentation, en les tenant au milieu du charbon dans un creuset brasqué que l'on chauffe, placé sous la moufle d'un fourneau d'essai.

On convertit ainsi les morceaux de minérai en fer un peu malléable et presque pur; mais, pour obtenir un semblable résultat, il faut opérer sur des échantillons choisis de fer oligiste ou de fer spathique.

En général, les minérais de fer sont composés d'oxide et de substances terreuses en quantité notable, de sorte qu'un procédé d'essai qui puisse convenir au plus grand nombre d'entre eux, doit offrir le moyen de fondre complétement toutes les matières étrangères, en même temps que l'oxide sera réduit. Le *borax* (calciné ou vitrifié, afin d'éviter les inconvéniens du boursouflement que la chaleur fait éprouver à celui qui est simplement cristallisé) est un fondant très-énergique, et qui convient très-bien pour les essais de fer : on l'emploie dans des proportions diverses, suivant la quantité présumée des matières terreuses mêlées avec l'oxide de fer. On en met depuis $\frac{1}{4}$ de partie jusqu'à poids égal; quelquefois on l'emploie mêlé avec de la pierre calcaire, du spath fluor ou du verre ordinaire.

Pour faire un essai de fer, on pulvérise avec soin le minérai préalablement grillé dans les cas indiqués ci-dessus; on le mêle exactement avec le fondant que l'on a choisi, et l'on en fait une pâte avec de l'huile d'olive : on met le tout dans une cavité pratiquée au milieu du charbon pilé dont on a rempli un creuset de terre (ce qu'on appelle un creuset brasqué); on recouvre avec de la poussière de charbon. Le creuset est ensuite placé, soit dans un foyer de forge, soit dans un

fourneau à vent qui tire bien, et chauffé convenablement par un feu gradué pendant trois quarts d'heure ou une heure; on obtient ainsi un culot de fonte bien réuni, ce qui est le caractère d'un bon essai : on opère ordinairement sur dix grammes de minérai. Lorsqu'on veut obtenir un résultat très-exact, il faut chercher, dans plusieurs essais, à diminuer le plus possible la quantité du fondant ajouté, afin que la quantité de l'oxide de fer, qu'il dissout toujours, soit réduite au minimum.

On peut employer, comme fondant, de la pierre calcaire pure (le marbre blanc pulvérisé) pour les minérais argileux, et de la marne, ou même de l'argile en petite proportion, pour les minérais à gangue calcaire : on essaiera d'ajouter ces substances à raison d'un quart, moitié ou trois quarts du poids du minérai. Ces sortes d'essais, tentés avec des fondans terreux seuls, ont l'avantage d'indiquer à l'avance la nature de ceux qu'il conviendra d'employer en grand dans la fonte de ces minérais au haut-fourneau. Souvent on mêle avec les fondans terreux un peu de borax ou de verre ordinaire, afin d'assurer une fusion plus complète de toute la gangue. Parmi les proportions indiquées comme les plus communément utiles, on peut distinguer les suivantes : un quart de partie de spath fluor, et autant de chaux; mais les minérais de fer très-pauvres peuvent être essayés avec addition de 20 pour 100 de verre ordinaire et 10 de verre de borax.

Le produit des essais de fer par la voie sèche, de ceux du moins où toutes les matières sont complétement fondues, est toujours de la fonte de fer, c'est-à-dire du fer carboné, et quelquefois retenant en outre quelques portions des substances qui pouvoient se trouver dans les minérais, comme soufre, phosphore, cuivre, etc. On fait subir à la fonte obtenue en petit quelques épreuves pour s'assurer de sa qualité; mais il y a toujours beaucoup d'incertitude dans les conclusions que l'on en peut tirer relativement à la qualité du fer qui sera

produit en grand par le minérai soumis à l'essai. Quant à la proportion du fer contenu, lorsque la fonte au haut-fourneau est bien conduite, le produit du minérai peut ne pas être inférieur à celui de l'essai en petit le mieux fait.

L'essai par la voie humide sert particulièrement à faire reconnoître et apprécier le phosphate de fer que les minérais peuvent contenir; car l'essai par la voie sèche peut tout au plus en faire soupçonner la présence, lorsque sa quantité est telle que le phosphore combiné dans le culot de fonte le rend fort cassant. Il est cependant d'une importance extrême, dans certaines circonstances, de reconnoître les phosphates dans les minérais de fer, et c'est alors qu'il faut avoir recours à une analyse exacte.

Ces mêmes recherches chimiques ont encore une grande utilité pour faire prévoir les meilleurs mélanges de minérais, les meilleurs fondans, ou ceux qui pourroient être nuisibles; enfin, l'analyse des laitiers peut procurer des données utiles sur la marche des fourneaux, la composition des charges, etc.

Essais de cuivre.

§. 6. L'essai des minérais de cuivre, lorsqu'ils sont suffisamment débarrassés de leur gangue, n'est pas fort difficile; il exige seulement qu'on en ait l'usage, et que l'on y donne quelque attention. Lorsqu'il s'agit de minérais sulfureux, il faut les griller avec soin dans un *test* ou petite capsule de terre que l'on chauffe sous la moufle d'un fourneau de coupelle et avec l'accès de l'air : on doit bien ménager le feu pour éviter de laisser agglomérer le minérai à la suite d'un commencement de fusion; car, à la fin du grillage, il doit se retrouver en poussière comme auparavant : on remue très-souvent la matière, dans la vue de renouveler les surfaces et de brûler plus complétement le soufre. Lorsque la matière s'est prise en grumeaux, l'opération s'arrête, et alors il faut recommencer sur de nouveaux frais.

On termine le grillage au moment où l'on reconnoît qu'il ne s'exhale plus de vapeurs ni d'odeur de soufre: il convient, vers la fin de l'opération, et en même temps que l'on augmente la chaleur, d'ajouter un quart pour cent de poussière de charbon, afin de faire encore dégager du soufre; mais il faut avoir soin de brûler soigneusement ensuite les dernières parties de ce charbon.

Les minérais d'oxides de cuivre, et même de cuivre carbonaté, ne sont pas souvent soumis à cette préparation.

Le minérai grillé est ensuite fondu dans un creuset d'essai ordinaire, avec un *flux* capable de réduire l'oxide métallique et de déterminer la vitrification des substances étrangères. On s'est servi pendant long-temps du *flux noir*, qui est formé, comme on sait, d'un mélange d'une partie de tartre et de deux de nitre, auquel on met le feu pour brûler une portion du charbon; mais ce flux présente l'inconvénient de dissoudre une grande quantité d'oxide de cuivre, d'où il résulte que l'on obtient à l'essai une quantité de cuivre réellement bien moindre que celle contenue. Il vaut mieux employer le verre de *borax*, ou le borax calciné, ou bien même le verre ordinaire pur. On mêle avec le minérai grillé et bien pulvérisé une de ces substances vitreuses, de la colophane et de la poussière de charbon. Pour les minérais très-pauvres il convient d'ajouter encore de vingt à vingt-cinq pour cent de spath fluor. Au reste, les proportions de fondans doivent varier avec la quantité de gangue que l'on estime être contenue dans le minérai, et il faut chercher, par quelques tentatives préliminaires, à reconnoître le *minimum* de ce qu'on en peut mettre; car on perd d'autant plus de cuivre que l'on emploie plus de fondant. Quelquefois on le met à partie égale avec le minérai grillé; d'autres fois seulement à moitié, et souvent au double.

Le mélange, dont quelques personnes forment une pâte avec de l'huile d'olive, est ensuite mis dans un creuset

brasqué, et quelquefois à nu ; on chauffe celui-ci dans un fourneau à vent. Le culot de cuivre, qui est formé après une demi-heure ou une heure de feu, et que l'on retire en cassant le creuset après refroidissement, doit être bien pur et dégagé de toute scorie ; car, s'il se trouvoit entouré de mattes, c'est-à-dire d'un anneau de matière métallique cassante, c'est une preuve que le grillage du minérai a été incomplet, et l'essai doit être recommencé.

Le culot de cuivre que l'on obtient d'un essai, ne présente un métal pur que dans le cas où le minérai ne contient que très-peu de fer et point d'autres métaux : mais lorsque le fer est un peu abondant, son oxide se réduit en partie pendant l'opération et, ce métal s'unissant au cuivre, rend l'essai tout-à-fait incertain, en augmentant le poids du culot d'une manière entièrement indéterminée. On s'aperçoit, au reste, de l'alliage du fer à la couleur que le cuivre obtenu présente dans sa cassure, et au manque de malléabilité. On peut obtenir d'un essai deux sortes de combinaisons : ou beaucoup de fer avec peu de cuivre, ou bien du cuivre qui a retenu une petite proportion de fer; dans ce dernier cas c'est du *cuivre noir*, produit le plus ordinaire de la fonte des minérais de cuivre.

C'est par tous ces motifs qu'on ne peut que rarement calculer immédiatement le produit d'un essai de cette espèce ; il faut faire subir au culot une nouvelle opération, afin d'en séparer les métaux étrangers, et qui sont, outre le fer, quelquefois l'arsenic, l'antimoine, le zinc, etc.

Le culot de cuivre impur qu'il s'agit de purifier doit être mis dans une coupelle, et celle-ci est placée sous la moufle d'un fourneau d'essai pour lui faire éprouver une très-forte chaleur blanche. On a soin de laisser la porte de la moufle entr'ouverte, de manière que l'air s'y introduise avec facilité et donne seulement à la superficie du métal fondu un petit mouvement d'ondulation. On incline de temps en temps la coupelle

en avant et en arrière, pour que cet effet se produise plus aisément, et l'on continue ainsi jusqu'à ce que la masse fondue ne montre plus aucune de ces variations de couleur que l'on y remarquoit auparavant. A cette époque, et pendant quelques instans seulement, on donne une chaleur encore plus forte, en bouchant l'orifice de la moufle avec des charbons ardens, et ensuite on retire brusquement la coupelle avec le bouton de cuivre pour plonger le tout dans l'eau. Si l'on voyoit que le culot de cuivre, après qu'il a demeuré pendant quelque temps sous la moufle, exposé à la chaleur blanche, ne se fond pas, ou bien, qu'étant fondu, il ne s'affine pas, il faudroit y ajouter, pour déterminer l'affinage, 1, 2 ou 3 fois le décuple du poids total de plomb non argentifère, et l'affinage commenceroit tout de suite.

Pour calculer d'après cela le poids du cuivre donné par l'essai, il faut, lorsqu'on n'a pas mis de plomb, ajouter au poids du bouton de cuivre affiné un dixième de la perte qui a eu lieu dans l'opération : mais, lorsqu'on a fait usage du plomb, il faut en outre compter une perte en cuivre de 1 livre pour chaque décuple de plomb ajouté. Ainsi, pour un culot qui est de 48 livres fictives après sa purification, mais qui provient d'une quantité de cuivre brut de 68 livres, et a éprouvé une perte de 20 livres, on aura à ajouter le dixième de cette perte, c'est-à-dire 2 livres; ce sera donc 50 livres pour le poids du résultat de l'essai. Mais si l'on a employé 1, 2 ou 3 décuples de plomb, il faudra compter en sus 1, 2 ou 3 livres, c'est-à-dire, admettre qu'il y avoit en cuivre pur 51, 52 ou 53 livres dans celui qui a été essayé.

Au reste, l'essai des minérais de cuivre, et surtout la purification du culot par la voie sèche, laisse toujours quelque incertitude, et les essayeurs les plus exercés ont de la peine à obtenir d'un même minérai, et par des essais répétés, des produits qui soient parfaitement d'accord entre eux.

L'essai des minérais de cuivre par la voie humide est fondé sur

la propriété que possède son oxide de se dissoudre dans l'ammoniaque avec facilité. Les minérais sulfureux doivent être grillés complétement, et ce n'est que dans cet état qu'ils pourront être traités comme les autres par l'acide nitrique. Précipitant ensuite par l'ammoniaque en excès, cet alcali dissoudra l'oxide de cuivre et laissera celui de fer; saturant alors la dissolution alcaline filtrée par un acide, on pourra en précipiter le cuivre à l'état métallique par le moyen d'une lame de fer bien décapée. Dans le cas où l'on se seroit assuré que le minérai ne contient aucun autre métal précipitable par le fer, que le cuivre, l'opération seroit plus simple encore; car il seroit inutile de dissoudre l'oxide de cuivre dans l'ammoniaque, et l'on pourroit précipiter ce métal immédiatement de la première dissolution.

Essais de plomb.

§. 7. Lorsqu'il s'agit de faire l'essai du minérai de plomb carbonaté, ou des oxides de plomb quelconques, il suffit de mêler ceux-ci avec un peu de poussière de charbon, de colophane, et d'y ajouter un peu de verre de borax et de spath fluor, suivant qu'il s'y trouve plus ou moins de gangue : en fondant ce mélange dans un creuset ordinaire, sous la moufle d'un fourneau, ou dans un fourneau à vent et avec une chaleur modérée, on obtient le plomb réduit au bout de très-peu de temps.

Pour les minérais sulfureux il y a un grand nombre de moyens d'essai fort différens. Lorsqu'ils sont très-purs, c'est-à-dire complétement débarrassés des gangues, le procédé le plus facile, et en même temps le meilleur, c'est-à-dire, celui qui donne les résultats les plus certains, consiste à fondre avec de la limaille de fer. En mettant de 20 à 25 pour 100 de cette limaille bien pure avec un peu de borax calciné dans un creuset brasqué, et en chauffant vivement sous une moufle, on obtient un culot de plomb dégagé de toute espèce de sco-

rie ou matte. Cet essai donne jusqu'à 82 de plomb pour 100 de galène.

Au reste, lorsqu'on a de la galène bien purifiée par le lavage, exempte de blende et de pyrite de fer, il est inutile d'en faire l'essai, puisque sa composition est constante, et qu'elle contient toujours environ 83 de plomb métallique pour 100. Il convient donc alors de s'en tenir à l'essai par le lavage, dont nous avons parlé.

Dans beaucoup d'usines on fait l'essai des minérais de plomb sulfuré en les grillant dans un test, de manière à volatiliser aussi complétement que possible le soufre du sulfure, et pour cela il faut ajouter à plusieurs reprises de la poussière de charbon, qui décompose le sulfate de plomb; on parvient ainsi à n'avoir plus guère que de l'oxide de plomb mêlé dans la gangue, et on le fond comme nous avons dit pour les minérais oxidés. Ce procédé donne toujours moins de plomb que le précédent, et d'autant moins qu'il y a plus de gangue; les galènes les plus pures ne montrent jamais plus de 0,70, à 0,72 de plomb.

Nous avons dit qu'en Allemagne, dans les grandes fonderies, on avoit cherché des moyens prompts et économiques pour faire les nombreux essais de plomb qui ont lieu chaque semaine. Le procédé auquel on s'est arrêté n'est pas plus exact que le précédent, mais il exige beaucoup moins de temps, et un même opérateur peut en conduire une certaine quantité à la fois. Au reste, il s'agit moins, dans les circonstances où l'on pratique ce procédé, d'obtenir des résultats exacts, que d'en avoir d'uniformes et de bien comparables entre eux.

Le schlich à essayer étant bien pulvérisé, on y joint 4 parties de potasse blanche, calcinée et réduite en poudre. Le tout est mêlé dans un petit creuset de terre, puis recouvert de sel commun, et placé sous la moufle d'un fourneau de coupelle, qu'on a soin d'allumer au moins une heure auparavant. Trente-cinq essais peuvent avoir lieu ensemble dans le même four-

neau. Quand les creusets y ont séjourné une heure et demie ou sept quarts d'heure, on les retire dans l'ordre indiqué par le registre d'essai : on les laisse refroidir; on les casse avec précaution; on nettoie le culot de plomb, on le pèse et l'on connoît ainsi *la teneur* de chaque schlich en plomb argentifère. Il ne reste plus qu'à déterminer la teneur en argent du culot de plomb obtenu, ce qui a lieu sur des coupelles formées avec de la terre d'os calcinée, suivant le procédé qui est généralement connu de la coupellation en petit.

Les produits divers des usines sont essayés par le même procédé; seulement, comme il s'agit de désoxider le plomb qui s'y trouve, on ajoute aux 4 parties de potasse un quart de partie de charbon en poudre.

Les minérais de plomb et les produits des fonderies peuvent être essayés, par la voie humide, d'une manière simple et fort exacte, de sorte que la pratique doit en être recommandée. Il suffit de dissoudre les oxides de plomb dans l'acide nitrique un peu affoibli, d'étendre la dissolution et de précipiter par le sulfate de soude; le précipité de sulfate de plomb, recueilli sur un filtre et séché, contient toujours de 68,29 de plomb métallique sur 100. La même dissolution pourroit aussi servir à nous faire connoître également par la voie humide la quantité d'argent contenue; mais on n'emploie pas ce moyen pour de très-petites quantités d'argent.

Le procédé que l'on vient d'indiquer seroit insuffisant pour les produits de fourneau ou minérais grillés qui contiendroient du sulfate de plomb. Il ne seroit point dissous par l'acide nitrique foible; il faudroit employer ensuite l'acide muriatique concentré.

Essai des minérais d'argent.

§. 8. L'essai par la voie sèche des minérais d'argent est fondé sur la grande affinité que le plomb montre pour ce métal; on les fond ordinairement avec de la litharge, qui a la propriété

de vitrifier les terres, et dont une partie, en se réduisant, entraîne tout l'argent contenu. L'opération se fait sous la moufle d'un fourneau d'essai et dans un petit vase de terre appelé *scorificatoire ;* l'opération est alors réduite à extraire l'argent du plomb par l'opération connue sous le nom de coupellation.

Ainsi, pour essayer un minérai terreux ou bien un minérai sulfuré qui a été grillé, on ajoute huit parties de plomb grénaillé, tenant le moins d'argent possible; on fond complétement toutes les matières, et pour s'en assurer on promène dedans un petit crochet de fer; cela fait, on verse le tout dans une espèce de moule de fer, où la matière se refroidit: après cela on concasse avec précaution, afin de recueillir tout le plomb argentifère.

Quand on veut essayer, pour l'argent, des minérais qui contiennent déjà du plomb, il suffit, comme nous l'avons dit ailleurs, de faire l'essai pour le plomb et de coupeller ensuite le culot obtenu. Quand il s'agit de galène pure, on peut la coupeller directement avec du plomb.

L'essai des minérais d'argent par la voie humide est fort simple et pourroit être pratiqué aisément s'ils étoient fort riches, car on ne peut espérer d'apprécier par ce moyen de petites quantités d'argent avec autant d'exactitude que par la voie sèche; c'est pour cela qu'on préfère celle-ci à l'autre.

Nous ne nous arrêterons pas à décrire la coupellation, qui est un moyen de séparer, en petit comme en grand et avec beaucoup d'exactitude, l'argent du plomb.

Essai des minérais d'or.

§. 9. Lorsque l'or se trouve à l'état natif, en *paillettes*, dans des sables, on en fait l'essai par le lavage, moyen qui est également employé en grand pour obtenir ce métal des minérais d'alluvion. Lorsque l'or est disséminé dans des roches dures, on les bocarde et on les lave avec précaution : on y trouve encore de l'avantage en grand, lors même qu'il ne s'y trouve que

4 gros d'or par quintal de schlich obtenu; mais il faut arrêter le lavage à un certain point, parce qu'on perdroit bientôt une trop grande quantité du métal précieux. L'essai par la voie sèche, que l'on ne doit pratiquer que sur des minérais déjà lavés, lorsqu'ils se présentent très-pauvres, est fondé sur le même principe que celui des minérais d'argent, c'est-à-dire sur l'affinité du plomb pour l'or.

On prend une partie de minérai, qu'il vaut mieux griller lorsqu'il contient de l'arsenic ou de l'antimoine, et on y ajoute 8 pour 100 de plomb; on fond dans un scorificatoire, sous la moufle d'un fourneau d'essai; si le minérai est très-difficile à fondre, on y joint un peu de verre de plomb ou bien d'une demie à une partie de verre de borax : on fond jusqu'à ce que tout devienne liquide, ou du moins jusqu'à ce que les scories surnageantes soient bien transparentes; on coule ensuite pour obtenir le plomb métallique qui aura réuni et retenu tout l'or du minérai : il ne reste plus qu'à coupeller pour séparer ce dernier métal avec l'argent qui pouvoit se trouver soit dans le minérai, soit dans le plomb dont on s'est servi.

Lorsque la pauvreté du minérai oblige à employer une masse un peu considérable, comme de 3, 4 ou 500 grammes, l'opération se fait dans un creuset et en ajoutant 4 parties de minium et 12 de flux noir; on recueille ensuite le plomb pour le coupeller. M. Sage dit avoir reconnu que le meilleur procédé consiste à traiter les minérais, et principalement les pyrites aurifères, avec 8 ou 10 parties d'acide nitrique et à scorifier le résidu avec du plomb, comme nous l'avons dit: il assure avoir obtenu, par ce procédé, moitié plus d'or des pyrytes aurifères de Hongrie, que par l'amalgamation.

L'amalgamation pratiquée en petit, en triturant dans un mortier les minérais aurifères grillés et réduits en poussière très-fine, est un assez bon moyen d'essai, surtout lorsque l'or n'est pas combiné. Il faut employer six parties de mercure.

L'essai, par la voie humide, des minérais très-pauvres, est une opération fort délicate et sujette à erreur, à cause de la difficulté d'apprécier une quantité extrêmement petite d'or; car il y a des schlichs ou des minérais qui ne contiennent que $\frac{1}{20000}$ et même $\frac{1}{40000}$ d'or. Il vaut mieux, dans tous les cas semblables, employer la voie sèche et l'addition du plomb; suivant M. Karsten, il faut préférer celui qui contient un peu d'argent, et en ajouter s'il ne s'en trouvoit pas : on mettra du plomb depuis deux jusqu'à six fois le poids du minérai, et l'on fondra sous la moufle, dans un creuset brasqué en charbon. Dans le cas où le minérai contiendroit du soufre, et surtout de l'arsenic ou de l'antimoine, il recommande de griller avec soin.

Essai des minérais d'étain.

§. 10. La grande pesanteur spécifique de l'étain oxidé permet d'appliquer le lavage comme moyen d'essai aux roches et aux sables qui le contiennent; lorsqu'on arrive à l'avoir bien pur, il n'y a pour ainsi dire pas besoin d'autre essai, puisqu'il contient 78,67 d'étain métallique.

L'essai par la voie sèche, des minérais d'étain convenablement lavés, se fait dans un creuset brasqué et à une température aussi élevée que celle des essais de fer : en remplissant cette dernière condition, on réussit toujours.

On a fait usage pendant long-temps, pour ces sortes d'essais, du *flux noir;* mais la potasse qu'il contient dissout une trop grande quantité d'oxide d'étain, et il y avoit toujours une perte notable sur le métal : il vaut mieux se servir du verre de borax en y ajoutant un peu de poussière de charbon, le tout exactement pulvérisé et mêlé avec le minérai. On doit regarder l'essai comme bon lorsque le culot d'étain bien réuni est malléable, et que les scories sont bien transparentes et sans mélange de grains métalliques. Suivant M. Lampadius, on peut employer trois quarts de partie de verre de borax avec un quart de partie de chaux vive.

L'essai par la voie humide ne paroît pas devoir être recommandé par aucune considération particulière relativement aux minérais d'étain ; mais il est indispensable pour connoître ce que retiennent de ce métal les scories et autres produits de fourneau que l'on abandonne souvent au hasard.

Essai des minérais de zinc.

§. 11. L'essai des minérais de zinc, par la voie sèche, consiste à les distiller, après un grillage très-exact s'il s'agit d'un sulfure, avec du charbon dans une cornue de terre qui puisse supporter un fort degré de feu ; on recueille le métal dans un récipient que l'on maintient constamment refroidi. Toutefois, comme il se perd toujours beaucoup de zinc, on ne peut regarder ce procédé comme un bon moyen d'essai.

L'essai par la voie humide est préférable sous le rapport de l'exactitude.

Essai des minérais de mercure.

§. 12. L'essai par la voie sèche peut avoir deux objets différens, ou bien de constater la quantité de *cinabre* qu'ils renferment, ou bien d'obtenir le mercure à l'état métallique. Dans le premier cas il suffit de séparer exactement et d'abord par le lavage, la gangue qui se trouve mêlée dans le minérai ; ensuite, après avoir pulvérisé le tout, on sublime aisément le cinabre en nature, en distillant à une chaleur convenable.

Lorsque le minérai contient du mercure liquide, la distillation le sépare aisément ; mais quand il y a en même temps du sulfure de mercure et que l'on veut décomposer celui-ci, on mêle le minérai pulvérisé avec partie égale de limaille de fer : lorsqu'il y a beaucoup de sulfure, il convient même de mettre le double en poids de cette même limaille ; on distille ensuite le mélange dans une cornue dont le col est maintenu presque vertical, afin d'obtenir du mercure plus pur.

Essai des minérais d'antimoine.

§. 13. L'essai par la voie sèche des minérais d'antimoine exige beaucoup de précautions, et consiste dans une distillation à la chaleur rouge et dans des vases exactement fermés ; mais, lorsqu'il s'agit seulement de connoître la quantité de sulfure d'antimoine qui est contenue dans le minérai, il vaut mieux, ainsi que nous avons eu occasion de le dire, se borner à exécuter avec soin un lavage convenable. Du sulfure supposé pur il est facile de conclure la quantité d'antimoine métallique, puisque le premier contient toujours 72,77 de métal.

Un autre moyen d'essai consiste à traiter le minérai sulfuré avec moitié de son poids de limaille de fer bien pure ; en fondant dans un creuset, on obtient l'antimoine sans soufre, ou ce qu'on appelle le régule. Si le minérai contenoit, outre du sulfure, de l'antimoine oxidé, il faudroit griller le tout et fondre avec du flux noir en vaisseaux fermés. Ce dernier moyen ne donne jamais un résultat bien exact, en raison de la facilité avec laquelle ce métal se volatilise, ainsi qu'un de ses oxides.

Essai relatif à l'arsenic.

§. 14. L'essai par la voie sèche des schlichs arsenicaux se fait par une simple sublimation dans des vases exactement lutés.

Essai pour le cobalt.

§. 15. Les minérais de cobalt ne sont jamais essayés pour connoître leur contenu en métal, mais seulement pour savoir quelle est leur puissance colorante à l'égard des verres terreux qu'on est dans l'usage de former avec eux. Après les avoir grillés avec soin, on les fond avec trois parties de quarz et une de potasse ; on obtient un verre dont on compare ensuite la couleur avec d'autres verres également colorés par du cobalt, et l'on juge ainsi combien de parties

de sable ce minérai pourra colorer avec une certaine intensité.

Essais de divers métaux.

§. 16. Les essais relatifs à divers métaux que l'on n'emploie pas fréquemment, ne peuvent être faits que par la voie humide et à l'aide de procédés plus ou moins compliqués, tels sont le chrôme, le manganèse, le cobalt, le nickel, l'urane, etc. Nous ne nous y arrêterons pas, parce que cela rentre dans les applications de la chimie au règne minéral.

CHAPITRE II.

Des agens chimiques.

Le nombre des agens chimiques dont on peut faire usage en fabrique, est extrêmement limité par la condition d'opérer de la manière la moins dispendieuse : on ne doit donc songer à employer que ceux qui sont abondans dans la nature et à bon marché, soit par la facilité de leur extraction, soit à raison des transports jusqu'à l'établissement, et eu égard à l'effet qu'ils produisent.

Les agens chimiques dont on fait usage sont, ou généraux, comme la chaleur produite par des combustibles brûlés par l'air atmosphérique, ou bien particuliers à chaque opération : telles sont certaines substances employées pour faciliter la fusion de quelques autres, ou leur séparation, en raison des affinités respectives ; on en verra bientôt des exemples.

La plupart des opérations métallurgiques se font à l'aide du feu, et souvent à des températures extrêmement élevées, qu'il faut maintenir pendant long-temps : c'est pour cela que la connoissance et le bon emploi des combustibles, ainsi que la bonne disposition des appareils de combustion, sont de la dernière importance dans cet art. Les moyens d'employer le plus utilement les combustibles et d'appliquer la chaleur qui en provient, sont très-variés, et en général susceptibles de beaucoup de perfectionnement et d'une économie très-notable. On devra donc étudier avec soin cette partie de l'art et s'appliquer à bien connoître tout ce qu'on a fait de mieux à cet égard.

Nous allons commencer par indiquer les principaux agens chimiques qui sont employés en métallurgie, et nous nous arrêterons ensuite sur quelques-uns d'entre eux.

1.° *La chaleur,* ordinairement employée pour faciliter l'action chimique, et assez souvent aussi pour opérer des chan-

gemens d'état dans les corps, c'est-à-dire, pour les faire passer de l'état solide à celui de liquide ou même de gaz.

2.° *Le charbon*, et les matières combustibles minérales, végétales et animales, qui contiennent principalement du charbon et de l'hydrogène : ces substances présentent non-seulement un moyen de se procurer de la chaleur, mais encore un agent de décomposition à l'égard d'un grand nombre d'oxides métalliques; elles en opèrent, à l'aide d'une haute température et par un contact intime et prolongé, ce qu'on appelle la *réduction* à l'état métallique.

Le charbon se combine aussi avec quelques métaux, et particulièrement avec le fer, pour former l'acier et la fonte de fer. Son action, dans le traitement des minérais de fer au haut-fourneau, est extrêmement remarquable.

3.° *L'air atmosphérique*, qui est employé dans presque toutes les opérations comme un agent indispensable de la combustion, exerce souvent en même temps une action d'oxidation sur les substances métalliques pures que l'on ne peut préserver de son contact : ainsi, dans un fourneau où se trouvent ensemble du charbon et de l'air atmosphérique, l'action de ce dernier est contraire et opposée à celle de l'autre. Au reste, cette propriété d'oxider les métaux, qui est quelquefois nuisible, est employée dans d'autres opérations pour atteindre un but utile, et comme moyen de séparation à l'égard du soufre, du charbon, du phosphore, etc. On tire aussi parti de la différence qui existe entre les divers degrés d'oxidabilité des métaux par l'air atmosphérique, pour les séparer les uns des autres : c'est sur ce principe qu'est fondé l'affinage du plomb, ou mieux, la séparation du plomb d'avec l'argent; le raffinage du cuivre, etc.

4.° *Le soufre*, que l'on n'emploie guère comme agent à l'état de pureté, mais que l'on introduit dans certaines opérations, en ajoutant de la pyrite (sulfure de fer), qui en contient beaucoup, et dont une partie n'est que foiblement retenue en combinaison.

5.° Certains *métaux* sont employés comme fondant, les uns à l'égard des autres, comme dans ce qu'on appelle les *soudures;* quelquefois comme dissolvant : tels sont le plomb, à l'aide de la chaleur, et à froid le mercure, à l'égard de l'argent et de l'or. Le fer sert à précipiter le cuivre de ses dissolutions acides. Enfin, les métaux peuvent se désoxider les uns par les autres dans certaines circonstances: c'est ainsi que le fer décompose la potasse et la soude, et qu'il précipite le cuivre à l'état métallique. Les métaux peuvent aussi exercer une action chimique très-puissante sur le soufre combiné, et plusieurs opérations ou procédés métallurgiques sont fondés sur la supériorité d'affinité du fer pour le soufre: ainsi l'on décompose très-bien en grand, par ce métal, la galène ou sulfure de plomb et l'antimoine sulfuré.

6.° *L'eau* sert aussi quelquefois comme dissolvant, plus rarement comme moyen d'oxidation, à l'égard de certaines substances métalliques.

7.° Divers *oxides métalliques* peuvent être employés comme agens d'oxidation à l'égard des métaux et des combustibles, et plus souvent ils servent comme fondans des terres : tels sont les oxides de manganèse, de fer, de plomb, etc.

8.° *Les terres* ou substances terreuses, soit seules, soit mélangées, exercent, à la température des fourneaux, une action très-énergique les unes sur les autres, et sur les oxides métalliques. Dans toutes ces circonstances il se forme des composés qu'on appelle *laitiers* ou *scories*, suivant qu'ils sont plus ou moins bien fondus ou vitrifiés. Les matières terreuses sont fréquemment employées comme fondans les unes à l'égard des autres. L'action de la silice, pour former avec l'oxide de fer des silicates très-permanens, est surtout digne d'attention dans les fourneaux où l'on traite les divers minérais.

La chaux, à l'état caustique, est quelquefois employée, à raison de son action sur le soufre, principalement dans quelques opérations pratiquées sur le plomb sulfuré; mais, comme

le sulfure de chaux est à peu près infusible à la température ordinaire des fourneaux, les décompositions par la chaux sont difficiles, et la séparation des substances est toujours assez pénible.

Certaines terres, particulièrement la silice, et, à ce que l'on croit, la magnésie et l'alumine, sont décomposées dans les hauts-fourneaux à fer, et le métal qui en forme la base paroît se combiner avec le fer dans quelques circonstances.

9.° *Les alcalis,* la potasse surtout qui se trouve dans les cendres du charbon de bois, peuvent avoir quelque influence, comme fondans, sur les opérations métallurgiques. On a remarqué que les parois des hauts-fourneaux chauffés au charbon de bois résistoient moins long-temps au travail que ceux des fourneaux chauffés avec le charbon de houille. Cela pourroit tenir à la présence de la potasse, qui manque dans ce dernier combustible.

Enfin, l'influence et pour ainsi dire la nécessité de la présence de la potasse et sa décomposition dans la préparation de l'antimoine pur ou régule d'antimoine, sont encore une preuve de l'action des alcalis dans certains procédés.

Nous allons revenir, avec les détails convenables, sur ceux des agens métallurgiques qui sont le plus en usage, et exposer ainsi toutes les généralités de la métallurgie.

1.re SECTION.

De la chaleur et de son emploi.

La chaleur sert, en métallurgie comme dans les opérations de chimie, à faciliter l'action chimique des substances les unes sur les autres; quelquefois à détruire un résultat d'affinité, ou bien à séparer les unes des autres, des substances dont la volatilité ou la fusibilité sont différentes. Enfin, elle sert à augmenter la malléabilité des métaux, et à amener à l'état liquide ou à fondre quantité de substances; car la dissolution par la voie humide ou dans les liquides qui conser-

vent cet état à la température moyenne de l'atmosphère, est beaucoup moins employée qu'en chimie, surtout à l'égard des substances métalliques. Il y en a cependant quelques exemples, comme dans le procédé d'amalgamation et dans celui par lequel on obtient du cuivre de son sulfate au moyen du fer, et en formant le cuivre de cément; enfin, c'est par la dissolution dans l'eau que l'on purifie les sels.

La chaleur est employée comme moyen de séparer les substances volatiles de celles qui sont fixes, dans l'opération que l'on appelle *grillage*, et dont nous parlerons dans le chapitre IV. C'est le principe de toutes les distillations et des évaporations relatives aux matières salines, opérations qui ne diffèrent que par rapport aux résultats.

La différence de fusibilité dans les corps, et particulièrement dans les métaux et les substances qui les accompagnent, fournit aussi des moyens simples de séparation, dont on fait un fréquent usage en grand; c'est le fondement de ce qu'on appelle la *liquation*, quand il s'agit de métaux alliés ensemble, opération qui est particulièrement pratiquée sur l'alliage de plomb et cuivre. Ce qu'on appelle la *fonte crue* des minérais sulfureux est encore fondé sur le même principe, et c'est ainsi que l'on sépare ordinairement l'antimoine sulfuré, qui est très-fusible, de sa gangue, qui ne l'est pas du tout, au degré de feu que l'on emploie. Dans la liquation, on se propose d'obtenir le métal le plus fusible, en le faisant couler, et laissant sur la sole du fourneau le métal ou la substance la moins fusible. Mais on peut aussi opérer d'une manière inverse, et ayant porté toute la combinaison à l'état liquide, procéder par un refroidissement lent de toute la masse; alors les substances les moins fusibles se solidifieront les premières et pourront être enlevées à la superficie du bain : c'est ainsi que, dans les bassins de réception des fourneaux à manche, on sépare assez exactement les scories, les mattes, et ensuite le métal pur. Lorsqu'il n'y

a pas d'affinités très-fortes, la différence des pesanteurs spécifiques concourt aussi à effectuer des séparations dans une masse hétérogène bien fluide.

C'est dans la pratique des arts métallurgiques, et surtout dans le travail des métaux, que l'on a besoin des plus hautes températures, ainsi que du développement simultané des plus grandes quantités de chaleur dont on fasse usage. C'est aussi dans ces mêmes arts qu'il faut apporter la plus grande attention à l'économie du combustible; car on en consomme annuellement des masses énormes, et la quantité va réellement et doit continuer d'aller en croissant de plus en plus. Pour obtenir de grands effets de la chaleur, il faut la développer dans des appareils particuliers propres à la concentrer et à la retenir; il faut en outre avoir des moyens d'exciter la combustion, de la produire sur de grandes masses et avec rapidité : tels sont les objets qui doivent nous occuper en ce moment.

§. 1.er M. de Buffon avoit aperçu, il y a déjà long-temps (eu égard aux progrès qu'ont faits depuis quarante ans les applications des sciences physiques aux arts), qu'il ne falloit pas se borner à considérer, dans un appareil de combustion, seulement le degré de chaleur ou la température plus ou moins considérable que l'on y produit, surtout lorsqu'il s'agit des opérations en grand. « J'ai pensé, dit-il, qu'on devoit « considérer le feu[1] dans trois états différens : le premier, « relativement à sa vîtesse; le second, à son volume, et le « troisième, à sa masse. On augmente la vîtesse du feu, sans « augmenter son volume apparent, toutes les fois que, dans « un espace donné rempli de matières combustibles, on presse « l'action et le développement du feu, en augmentant la « vîtesse de l'air par des soufflets, des tuyaux d'aspiration, « etc. On augmente l'action du feu par son volume, toutes

1. On voit aisément qu'il s'agit ici d'un brasier ou foyer de chaleur.

« les fois que l'on accumule une quantité de matières com-
« bustibles, et qu'on recueille la chaleur et la flamme dans
« un fourneau à réverbère. Enfin, lorsqu'on reçoit un plus
« ou moins grand nombre d'images du soleil sur un corps
« à l'aide d'un miroir ardent, on augmente la masse d'autant
« plus qu'on réduit davantage la surface du foyer. »

En donnant à cet aperçu plus de précision, et employant à son énoncé les termes consacrés et qui sont maintenant entendus de tout le monde, nous dirons que l'objet que l'on se propose ordinairement dans les arts, c'est de produire un certain *effet calorifique;* que par effet calorifique il faut entendre la production d'un phénomène ou d'un résultat qui suppose l'absorption ou la consommation, au moins momentanée, d'une certaine quantité de chaleur, et par suite d'une quantité déterminée de combustible. Parmi ces résultats, pour lesquels on consomme de la chaleur, on peut compter: 1.° l'échauffement, à une température donnée, d'une certaine masse ou d'un certain volume d'un corps déterminé, qui sera solide comme est le fer, ou liquide comme l'eau ou le mercure, ou enfin gazeux comme l'air atmosphérique (on sait qu'il faut des quantités différentes de chaleur pour augmenter d'un même nombre de degrés la température d'un même poids ou volume de corps de différentes natures, et que c'est là ce qui constitue la différence des *chaleurs spécifiques* ou capacités pour la chaleur dans les corps); 2.° le *changement d'état,* phénomène qui a lieu à des températures déterminées pour chaque espèce de corps dans les mêmes circonstances: telle est la fusion de la glace ou celle d'un métal, comme le plomb, l'étain, le cuivre, le fer; enfin, la vaporisation de plusieurs substances et leur transformation en fluides élastiques.

Relativement à ces effets, il y a deux observations importantes à faire : la première est relative au degré de chaleur ou mieux à la température à laquelle ces phénomènes

sont produits; c'étoit tout ce qu'on y remarquoit autrefois.

§. 2. La seconde observation, c'est qu'il y a absorption ou consommation de chaleur dans la production de ces effets : ainsi, quand on fait évaporer de l'eau, il y a nécessairement une certaine quantité de chaleur absorbée pour constituer cette vapeur et qui est indépendante de sa température actuelle; mais il s'en consomme aussi pour donner à cette vapeur d'eau la température avec laquelle elle s'élève dans l'atmosphère; enfin, une quantité de chaleur très-considérable se dissipe à travers les parois des appareils pendant l'opération, et est ainsi perdue pour l'effet utile. C'est de cette manière et par les mêmes causes qu'on ne peut éviter de consommer beaucoup de combustible pour entretenir dans un appareil une certaine température élevée, quoiqu'il ne s'y produise d'ailleurs aucun phénomène qui donne lieu à une absorption réelle de chaleur thermométrique.

Examinons maintenant les rapports qui existent entre la chaleur produite et le combustible que l'on brûle à cet effet.

Des expériences concluantes et répétées ont établi comme principe ce résultat important, savoir, qu'*une certaine masse de combustible produit toujours, en brûlant, la même quantité de chaleur, de quelque manière qu'il soit brûlé, pourvu que la combustion soit complète.*

Ainsi, soit que l'on brûle un combustible lentement, comme on le fait quand on veut entretenir une douce chaleur, soit qu'on le fasse brûler rapidement, comme quand on veut obtenir une température fort élevée dans un foyer, on dégage toujours la même quantité *de chaleur.* Il suit de là, que, pour produire un certain effet calorifique, on peut brûler promptement ou moins vîte le combustible nécessaire pour le produire : il en résulte encore que l'on pourra employer un poids donné de combustible, ou bien en très-peu de temps, et alors on en obtiendra une température très-élevée dans un foyer; ou bien se borner à une température beaucoup plus

basse, mais que l'on maintiendra bien plus long-temps sans en consommer davantage, en le brûlant lentement.

En ajoutant à ces considérations celles relatives à la conservation et aux moyens d'appliquer la chaleur, on embrassera tout ce qu'il est donné à l'art de produire ; car il ne crée ni ne détruit la chaleur, pas plus que le mouvement, avec lequel elle a de si grandes analogies : il ne lui est donné que de la développer, de la diriger, de l'appliquer et de la conserver.

Une autre conséquence non moins importante à déduire du principe énoncé ci-dessus, c'est que, dans des circonstances semblables, les quantités de combustibles consommées sont proportionnelles aux quantités de chaleur dégagées et peuvent leur servir de mesure. Enfin, c'est en choisissant les circonstances de la combustion de manière à la rendre complète, en diminuant autant que possible les pertes dues à la diffusion de la chaleur, et surtout en appliquant celle-ci convenablement et en entier à la production des effets désirés, que l'on arrivera au plus haut point de perfection dans l'art d'employer les combustibles.

Les principes sur lesquels repose la disposition et la construction des appareils ou fourneaux dont nous devons exposer les propriétés générales, sont les suivans.

1.° On élève la température dans un foyer, en y augmentant la rapidité de la combustion, ce qui s'opère ordinairement par l'accroissement de la vîtesse du courant d'air et sa condensation : il en résulte évidemment une combustion beaucoup plus active et par suite un dégagement de chaleur beaucoup plus considérable dans le même temps, ce qui est la condition essentielle, dans la pratique, pour se procurer une haute température. 2.° On concentre la combustion, et par conséquent la chaleur, dans un très-petit espace ; ce qui signifie qu'on y augmente la température relativement à un espace plus étendu où s'opèreroit la même combustion,

en rétrécissant autant que possible le foyer dans lequel on met le combustible, en quantité d'ailleurs suffisante pour produire l'effet desiré[1]. Mais un autre moyen très-efficace consiste à choisir le combustible le plus compacte, celui qui contient le plus de matière combustible sous le même volume, et à l'accumuler dans le foyer, de manière, toutefois, à ne pas former obstacle au contact de ses surfaces avec les molécules de l'oxigène atmosphérique. 3.° Enfin, il faut s'opposer de tous ses moyens à la dissipation de la chaleur qui est produite dans l'appareil : on s'attache d'abord à fermer toutes les ouvertures inutiles; de plus, on forme les parois des fourneaux de matériaux peu conducteurs, et on leur donne une épaisseur assez considérable pour qu'ils soient peu pénétrables à la chaleur.

On a soin aussi de faire arriver à l'endroit où l'on veut avoir la plus haute température, du combustible déjà fort échauffé, et qui ne puisse y apporter de refroidissement sensible. Du côté de l'air, il est impossible d'empêcher que celui qui traverse le foyer en cet endroit et qui en prend nécessairement la température, n'emporte avec lui beaucoup de chaleur; mais du moins on peut ne pas la perdre entièrement, et c'est ce qu'on fait en élevant ce qu'on appelle la *cheminée* ou le *foyer supérieur* dans les hauts-fourneaux à fer. On atténue un peu cette cause de refroidissement dans les fourneaux, en diminuant autant que possible la quantité des fluides élastiques dans leur intérieur, et surtout celle des substances susceptibles de se vaporiser; c'est pour cela qu'on n'emploie, dans certains foyers, que des combustibles qui ont été dépouillés de leurs parties volatiles, ou, comme l'on dit, convertis en charbon.

---

1 Ces conditions remplies assez exactement par l'appareil et dans l'emploi du *chalumeau* des minéralogistes, expliquent les effets qu'il produit et dont on est presque toujours étonné.

On trouve souvent avantageux, dans les arts métallurgiques ou dans les fabriques, de produire de certains effets d'une manière uniforme pendant un certain temps : tels sont l'échauffement constant d'un appartement, d'une étuve, ou d'un liquide, qu'il faut maintenir à une température invariable; l'évaporation continuelle de l'eau dans une chaudière de surface donnée, etc.; le chauffage pendant plusieurs jours d'un fourneau à réverbère ou de tout autre, etc. Alors on peut avoir égard au *temps* dans l'évaluation des effets produits par ces appareils; car l'effet, étant sensiblement uniforme, est par cela même proportionnel au temps, ainsi qu'à la quantité de combustible consommée.

§. 3. Dans tous les cas, si l'on compare l'*effet utile* produit par un poids déterminé d'un combustible avec la quantité totale de chaleur qui a été dégagée, ou ce qu'on peut appeler l'*effet théorique*, on trouvera toujours une très-grande différence entre ces deux quantités : toutefois cette différence, bien appréciée, peut servir à faire juger de la perfection des appareils. Ainsi, quoique beaucoup de fourneaux destinés à échauffer de l'eau ou à en faire évaporer, n'emploient réellement à cet effet que le quart ou le cinquième de la chaleur totale que pourroit fournir le combustible qu'ils consomment, cependant quelques-uns en utilisent plus de la moitié et même les deux tiers, ce qui dépend alors de ce que toutes les conditions relatives à une parfaite combustion et à l'application bien entendue de la chaleur y sont mieux remplies que dans les autres.

§. 4. La mesure des *effets* de toute espèce est un objet de la plus grande importance dans les arts, tant pour leur faire faire de nouveaux progrès, que relativement à l'économie qui doit accompagner toutes les opérations. Par rapport aux phénomènes ou aux effets de la chaleur, on ne s'est guère occupé jusqu'ici que de la mesure des températures à l'aide de l'instrument appelé *thermomètre*, quand il s'agit de degrés de

chaleur peu élevés, et avec les *pyromètres* pour le feu des fourneaux. Mais voudroit-on mesurer les quantités de chaleur développées dans un foyer, c'est-à-dire cette espèce de courant de chaleur qui est produit et sort comme d'une source variable ou constante ? On n'a pas de moyen d'y parvenir : on se borne, comme nous l'avons dit, à apprécier la chaleur d'après la quantité de combustible consommée. On pourroit également se servir dans cette vue de la quantité d'air, ou mieux de l'oxigène absorbé ; mais cela seroit beaucoup plus difficile : au reste, dans l'un et l'autre cas, il faut supposer la combustion complète, ce qui n'a jamais lieu bien rigoureusement.

Lorsqu'on a voulu comparer entre elles, ce qu'on peut appeler les *puissances calorifiques* des combustibles ou la quantité totale de chaleur qu'ils dégagent en brûlant, on s'est servi, pour les expériences, de la fusion de la glace, et l'appareil appelé *calorimètre* par MM. Lavoisier et Laplace donne très-exactement des nombres proportionnels aux quantités de chaleur produites par les mêmes poids de différens corps combustibles; mais l'usage n'en est pas sans difficultés, même en petit, et il est impossible de l'employer en grand. On a fait usage plus ordinairement de l'évaporation de l'eau pour comparer les effets des combustibles, en se servant du même fourneau, de la même chaudière et opérant d'ailleurs dans des circonstances atmosphériques sensiblement les mêmes : ce moyen, beaucoup moins exact que le précédent, a cependant donné des résultats utiles, et il a d'ailleurs l'avantage d'être beaucoup plus rapproché de la pratique.

Nous avons dit que l'on pouvoit considérer un foyer de combustion comme le lieu d'où sortoit un courant de chaleur qu'il s'agissoit d'employer ensuite de la manière la plus utile. On aura donc à examiner, 1.° comment on se procure de la chaleur dans les arts; quels sont les matériaux qu'on y emploie, c'est-à-dire, les combustibles et l'air atmosphé-

rique : 2.° l'espèce et la disposition des appareils ou des fourneaux et machines dont on se sert : 3.° les moyens d'appliquer la chaleur aux diverses espèces de corps, solides, liquides, ou aériformes, que la nature nous présente; enfin, comment on peut conserver la chaleur, faire varier les températures et opérer des refroidissemens.

2.e SECTION.

Des combustibles.

Parmi les corps que la chimie classe au nombre des combustibles, on n'emploie dans les arts que ceux qui sont très-abondans, à bon marché, et qui donnent une chaleur considérable en brûlant. Les substances naturelles qui réunissent ces conditions économiques, sont toutes composées de carbone et d'hydrogène dans des proportions variables ; il ne s'y joint quelques autres élémens qu'en très-petite quantité.

§. 1.er Les combustibles végétaux sont le *bois* et le charbon de bois qui en provient. Parmi les combustibles minéraux se trouvent la *houille*, le *bois bitumineux* et la *tourbe*, qui peut être considérée comme un assemblage de végétaux enfouis dans la terre ou sous l'eau : nous n'y comprenons point les huiles, les graisses, la résine, les bitumes, qui ne sont employés que pour l'éclairage. Le soufre n'a point d'usage pour chauffer des corps en grand, quoiqu'on établisse assez souvent des *grillages de pyrites*, dans lesquels le feu, une fois allumé, s'entretient ensuite par la combustion du soufre.

Tous les combustibles végétaux ou minéraux, dans l'état où la nature nous les offre (en les supposant toutefois suffisamment purs, et privés de l'eau qu'ils peuvent contenir par mélange et qu'on en sépare par la dessiccation), donnent, en brûlant, une *flamme* plus ou moins vive, plus ou moins durable. La flamme est le spectacle de la combustion des substances susceptibles d'être brûlées à l'état de vapeur ou de gaz ; il y a ordinairement production d'une lumière plus ou

moins brillante. Dans les combustibles naturels, la première chaleur en dégage les gaz et les substances volatiles qui sont foiblement combinées, et ce sont elles qui s'embrasent le plus aisément dans l'état de division où elles se trouvent alors et donnent ainsi naissance à la flamme ; mais ordinairement la combustion ne se termine point avec la flamme : et à celle-ci succède la combustion des parties non volatiles ; il se forme un brasier, qui donne une chaleur plus intense et plus concentrée. Ces deux combustions sont souvent employées simultanément pour produire un même effet ; mais aussi quelquefois on ne se sert que de l'une d'entre elles. Certains fourneaux sont construits et disposés pour employer la flamme des combustibles ; dans quelques autres elle seroit inutile et même nuisible, et le combustible est alors préparé de manière à brûler sans flamme. Pour apprécier ces deux moyens d'action des combustibles, il faut s'arrêter un moment sur les propriétés différentes de la flamme et du feu de charbon.

La flamme supposant, comme nous l'avons dit, un dégagement de substances volatiles qui brûlent en se mêlant avec l'air atmosphérique, il y a mouvement et transport des molécules combustibles embrasées : c'est par là que la flamme est particulièrement propre à transporter la chaleur, à échauffer un corps d'un volume considérable, comme une chaudière, en l'entourant constamment. On peut aussi chauffer de cette manière d'assez grands espaces, où l'on fait ensuite diverses opérations ; car on peut maintenir le foyer à une certaine distance du laboratoire. Ajoutons à ces notions, que le développement de la flamme exige toujours beaucoup d'espace et un mélange en volume considérable des gaz dégagés avec l'air atmosphérique. Les fourneaux qui remplissent ces conditions, et parmi lesquels il faut placer les fourneaux d'évaporation, les *fourneaux à réverbère*, tous ceux qui servent à chauffer des creusets, etc., peuvent être désignés par le nom de fourneaux à flamme (*Flamm-Ofen* des Allemands).

§. 2. La combustion de la partie fixe d'un combustible se fait dans un espace beaucoup plus resserré, ou du moins on peut opérer la combustion d'une plus grande quantité de matière dans un petit espace, et par conséquent obtenir dans cet espace une température bien plus élevée que celle qui résulteroit de la flamme seule. Il suffit pour cela de faire traverser la masse à brûler par un courant rapide d'air comprimé. On a remarqué que la présence des matières volatiles qui produisent la flamme, dans l'espace resserré où l'on veut brûler la partie fixe, non-seulement n'ajoutoit pas à la chaleur produite ou à la température, parce que leur combustion demeuroit toujours imparfaite ; mais qu'elle étoit nuisible, en diminuant par sa volatilisation la chaleur dégagée par la partie fixe du combustible : en conséquence, toutes les fois que l'on veut se procurer une haute température dans un foyer resserré, on sépare du combustible qui doit y être employé, et par une opération que l'on appelle *carbonisation*, les parties volatiles qu'il contenoit ; on le convertit en *charbon*. La carbonisation est une espèce de distillation, et dans la pratique une combustion étouffée, parce qu'on se sert de la chaleur produite par la combustion d'une partie du combustible pour distiller l'autre : ordinairement les parties volatiles qui auroient pu produire une chaleur utile, sont perdues et se dissipent dans l'atmosphère sous forme de fumée. On convertit en charbon le bois, la houille et même la tourbe. Nous ne nous arrêterons pas à décrire les divers procédés de carbonisation usités ou proposés ; nous ferons seulement remarquer que cette opération importante est encore peu connue et mal pratiquée à l'égard du bois, pour lequel elle se fait au milieu des forêts, abandonnée à des ouvriers ignorans qui repoussent toute espèce d'amélioration.

La qualité et la quantité du charbon que l'on retire d'une même quantité de bois ou de houille, dépend principalement de la manière dont on a disposé et conduit la carbo-

nisation, et l'on observe de grandes différences à cet égard.

Nous allons maintenant faire connoître brièvement les principales propriétés des combustibles le plus ordinairement employés, en les considérant d'abord dans leur état naturel, c'est-à-dire, propres à donner de la flamme, et ensuite convertis en charbon par des procédés convenables.

I. *Le bois.*

§. 3. Ce combustible est employé, dans son état naturel, pour le chauffage des fourneaux à réverbère, pour les fourneaux d'évaporation, le grillage des minérais, etc.; mais il est remplacé avec économie, dans beaucoup de localités, par la houille et même par la tourbe de bonne qualité.

On fait deux classes des bois, sous le rapport de leurs facultés calorifiques, mais surtout relativement aux propriétés du charbon qu'ils produisent. Les *bois durs* sont le châtaignier, le chêne, le charme, le noyer, l'érable, le sycomore, auxquels on joint quelquefois l'orme et le hêtre. Par *bois tendres* on désigne toutes les autres espèces. Le charbon qu'on en retire est plus léger et moins résistant au feu que celui des précédens; mais, à l'état de bois, ceux qu'on nomme tendres, sont plus faciles à brûler, et produisent plus de flamme que les premiers : plusieurs d'entre eux sont résineux.

La pesanteur spécifique du bois de chêne est de 1,50, celle de l'eau pure étant l'unité ; celle des bois blancs est moindre. La densité des bois dépend surtout de leur état de dessiccation : en se séchant à l'air, le bois perd en quelques mois un cinquième ou un quart, et même jusqu'à près de moitié du poids qu'il avoit au moment où on l'a abattu. On compte assez généralement, dans les usines, que le chêne en gros morceaux pèse de 400 à 450 et jusqu'à 500 kilogrammes le mètre cube, suivant le degré de dessiccation, et surtout suivant la manière dont le bois a été arrangé. Les bois tendres ou blancs, tels que le sapin et autres, ne pèsent guère que

300 à 340 kilogrammes par stère. La corde de charbonnage est, dans le centre de la France, de 80 pieds cubes, et elle ne pèse guère que 1,280 livres anciennes, attendu qu'il s'agit de branchages peu susceptibles d'être arrangés sans laisser beaucoup de vide.

La composition chimique des bois paroît être peu différente dans les diverses espèces, et par conséquent la quantité totale de chaleur qu'ils sont capables de produire doit être à peu près la même lorsqu'ils sont dans un état de dessiccation semblable. Mais leur pesanteur spécifique étant différente, ainsi que leur propriété de donner de la flamme, il y a des différences assez notables dans la température du foyer où on les brûle, les plus compactes donnant un plus haut degré de chaleur que les autres. Il en est de même à l'égard des charbons qu'ils produisent; ceux des bois blancs donnent bien moins de chaleur que ceux qui proviennent des bois durs. Suivant MM. Gay-Lussac et Thénard, les bois durs contiennent de 50 à 52 pour 100 de charbon ; mais M. de Rumford n'a jamais pu en obtenir, par une méthode directe, plus de 43 centièmes ; et, en grand, on n'en retire guère plus de 25 à 30 pour 100 du bois soumis à la carbonisation.

Le bois laisse, après sa combustion supposée complète, un résidu terreux, qu'on appelle *cendres*, et qui contient quelques sels de potasse et de chaux, avec un peu de silice. La quantité des cendres varie assez sensiblement dans une même espèce de bois, suivant son âge et le terrain où il a cru ; elle est entre un demi et deux centièmes, et n'excède jamais cinq centièmes : sa composition n'est pas non plus toujours identique. Cette petite quantité de substances fixes, dont quelques-unes, comme le carbonate de potasse et même les autres sels alcalins, sont des fondans très-actifs, n'est point sans influence dans les fourneaux. On a aussi soupçonné que la potasse étoit décomposée dans quelques circonstances, et que

son métal pouvoit entrer en combinaison, particulièrement avec le fer, lorsque l'on fond ses minérais. La chaleur produite par diverses espèces de bois, en les employant à faire évaporer de l'eau, les a fait classer, par le comte de Rumford, ainsi qu'il suit : le hêtre ; le chêne, soit le tronc, soit les branches ; le charme, l'ormeau, le tilleul, le bouleau, l'aune, le tremble, le peuplier noir, le peuplier d'Italie, le mélèze, le sapin, le pin. La même suite d'expériences a fait voir quelle étoit l'influence de la dessiccation des bois sur les effets calorifiques qu'ils sont capables de produire : ainsi des copeaux de bouleau, bien desséchés à l'air libre, ont donné une chaleur capable de porter 34 fois leur poids d'eau de 0° à 100° ; les mêmes copeaux, desséchés dans une étuve, pouvoient élever du même nombre de degrés 39 fois leur poids d'eau. Le tilleul, après avoir été desséché sur une pelle à feu, en échauffoit de la même quantité jusqu'à 40 fois son poids ; le sapin de 30 à 37 fois ; le chêne, médiocrement sec, seulement 26 fois son poids. C'est pour cette raison que, dans certaines opérations des arts, comme celles des verreries et pour les fours à porcelaine, on fait sécher dans des étuves le bois refendu qui doit être employé à les chauffer.

Du charbon de bois.

§. 4. Le charbon de bois, ainsi que nous l'avons déjà exposé, donne, à poids égal, beaucoup plus de chaleur que le bois, et on l'emploie toutes les fois que l'on veut obtenir une température fort élevée dans un espace très-circonscrit ; on s'en sert surtout dans les fourneaux, où le combustible doit être mêlé avec la substance à échauffer, et où il importe alors de ménager l'espace dans lequel s'opère la combustion. La conversion du bois en charbon, en séparant les parties volatiles, dont la plupart pourroient produire de la chaleur, mais qui cependant sont ordinairement perdues dans la carbonisation, occasionne visiblement une perte réelle et considérable sur

la masse des matières combustibles qui sont annuellement détruites et consommées pour les besoins des arts. M. de Rumford a cherché à évaluer cette perte, et il a trouvé qu'elle s'élève à environ 64 pour 100 du bois employé, de sorte que la chaleur que l'on pourroit obtenir de la quantité de bois convertie annuellement en charbon, est réduite à *un tiers* par cette seule opération : dans cette évaluation se trouve nécessairement compris le combustible brûlé dans l'opération elle-même. Malheureusement on ne sait pas encore se passer de charbon, c'est-à-dire, se servir, pour toutes les opérations, des combustibles dans leur état naturel avec le même avantage qu'après leur carbonisation.

Dans la carbonisation des bois en grand, on n'obtient guère que le tiers ou le quart en poids du bois employé, et l'on compte sur un cinquième en fumerons.

On convertit en charbon des bois de diverses espèces, et les différentes parties du végétal donnent des charbons de qualités différentes. Pour former le meilleur charbon, on se sert de bois taillis ou des branches du chêne ou du châtaignier, et, suivant les pays, de hêtre, de pin ou de sapin. La quantité du charbon obtenu varie dans les diverses contrées : dans le centre de la France une corde de bois à charbonner (qui est de 80 pieds cubes), formée avec du chêne rondin sec, pesant 1,425 livres, produit 19 pieds cubes de charbon, dont le poids est de 304 livres. La pesanteur spécifique du charbon de bois de chêne, ou le poids du pied cube, varie entre 10 et 13 livres, ce qui fait environ 200 kilogrammes le mètre cube. Les charbons de bois tendres, et notamment ceux des bois résineux, qui sont fréquemment employés dans le Nord de l'Europe et les pays montueux, ne pèsent que 7 ou 8 livres le pied cube.

Le charbon absorbe promptement l'humidité de l'air ou du sol sur lequel on le dépose; son poids augmente alors, et cela commence aussitôt qu'il est sorti des fosses où on l'a préparé:

il peut prendre jusqu'à un quart ou un tiers de son poids d'eau.

Le charbon qui vient d'être fait passe trop vîte dans les fourneaux, surtout lorsque la combustion y est excitée par le vent de machines soufflantes un peu puissantes : sous ce rapport, il n'y a pas d'économie à l'employer. Dans les usines, et particulièrement pour les hauts-fourneaux à fer, on préfère au charbon récent celui qui est demeuré deux ou trois mois dans les magasins.

II. *La houille.*

§. 5. Le combustible minéral connu sous le nom de *charbon de terre, charbon de pierre, houille*, est d'un usage fréquent et avantageux dans les fabriques, et principalement dans le travail des métaux, à cause de la chaleur considérable et concentrée qu'il produit par sa combustion. Les diverses exploitations présentent des variétés assez nombreuses, parmi lesquelles il faut choisir les plus convenables pour l'emploi qu'on en veut faire. Deux circonstances de composition influent principalement sur les usages de ce combustible, en raison des quantités de chaleur qu'il produit : ce sont, d'une part, la proportion de substances bitumineuses qu'il renferme, et, d'un autre côté, celle des matières terreuses ou incombustibles qui se trouvent unies à la partie combustible. La variété de houille nommée *anthracite*, qui se trouve dans les terrains de formation intermédiaire, s'allume difficilement et ne donne presque pas de flamme; d'ailleurs le charbon y est mêlé de beaucoup de terres et de pyrite de fer, et, par ces raisons, ce combustible est presque tout-à-fait impropre à la fonte des minérais dans les fourneaux. En se bornant à l'examen de celles même des houilles qui sont reconnues pour être de bonne qualité, on y reconnoît encore des différences essentielles : les unes sont très-peu bitumineuses, et on les appelle, à cause de cela, *houilles sèches* ou *maigres*; elles

servent à la cuisson de la pierre à chaux, au chauffage domestique, et, faute de mieux, aux fourneaux d'évaporation. Une autre variété, plus bitumineuse, qui brûle avec flamme et donne une grande chaleur, est employée particulièrement dans les verreries, les fourneaux à réverbère et dans un grand nombre de fabriques. Enfin, une troisième espèce est celle de la houille la plus pure, et qui jouit de cette propriété, de se prendre ou de se coller au feu : elle sert particulièrement aux travaux de la forge ; on la nomme *houille collante*, *maréchale*. C'est la plus recherchée et par conséquent la plus chère ; cependant elle ne produit pas un bon effet dans les fourneaux où elle brûle sur une grille, parce que les morceaux, en se collant entre eux et aux barreaux, forment un obstacle très-nuisible à la circulation de l'air, ce qui rend la combustion lente et incomplète. Cette espèce de houille est d'ailleurs très-friable et se présente presque toujours en poussière.

En général, les houilles les plus bitumineuses sont les plus inflammables, celles que l'on allume le plus aisément. Dans les fabriques et presque toujours, excepté pour forger les métaux, la combustion de la houille s'opère sur *une grille* en fer dont les barreaux sont plus ou moins écartés, suivant la grosseur des fragmens de combustible dont on se sert communément : c'est la grandeur de la grille ou sa surface qui détermine, toutes choses égales d'ailleurs, la quantité de houille qui se brûle dans chaque heure, et par conséquent la quantité de chaleur qui est continuellement produite dans le foyer. L'ouvrier qui est chargé de conduire le feu, est occupé à tenir la grille bien libre, c'est-à-dire, à la dégager quand il s'y attache des matières vitrifiées ou du *mâche-fer*, et il la charge lorsque le combustible y manque. Les pyrites, que la houille contient fort souvent, détruisent assez promptement, par le soufre qu'elles laissent dégager, les barreaux de fer qui forment les grilles, et même souvent

jusqu'aux chaudières en fonte ou en tôle que l'on chauffe dessus.

La pesanteur spécifique de la houille de bonne qualité varie de 1,20 à 1,60 ; celle qui est impure et qui contient beaucoup de matières terreuses ou des pyrites, est la plus pesante. L'hectolitre de houille, de moyenne grosseur, pèse communément de 80 à 85 kilogrammes ; quand il s'agit de houille menue, et que la mesure est comble, son poids peut s'élever à 90 et même jusqu'à 100 kilogrammes.

Lorsqu'on distille de la houille, on en sépare des substances volatiles dont la plus grande partie est bitumineuse ; il reste du charbon qui, dans les houilles de bonne qualité et bien pures, forme de 60 à 70 centièmes de ce combustible, quelquefois jusqu'à 80. On sait que c'est par une sorte de distillation et par une décomposition simultanée des bitumes que l'on prépare les gaz qui servent à l'*éclairage*. Les bonnes houilles ne fournissent guère que quatre pour cent, en poids, de ce gaz éclairant. Le résidu charbonneux peut servir aux usages domestiques et dans quelques fabriques.

En brûlant la houille complétement, ou bien le charbon resté après sa distillation, on obtient un résidu terreux plus ou moins considérable : dans la meilleure, il n'est que de 1 à 3 pour cent ; mais dans certaines variétés qui sont encore fort employées dans les fabriques, il y a 10, 12 et jusqu'à 20 ou 25 centièmes de cendres.

L'emploi de la houille, dans son état naturel, est, comme nous l'avons dit, fort avantageux dans les fabriques ; à poids égal, son effet calorifique est fort supérieur à celui du bois et à peu près le même que celui du charbon de bois.

Du coke ou charbon de houille.

§. 6. Les mêmes raisons qui font préférer, dans certaines circonstances, l'usage du charbon à celui du bois, font employer le coke ou charbon de houille de préférence à la

houille. On carbonise la houille dans le même but et par un procédé analogue à celui usité pour le bois, et le produit ou résidu de l'opération s'appelle *coke*, dénomination empruntée à la langue angloise. Presque toujours les parties volatiles ou les bitumes que laisse dégager la houille se dissipent dans l'atmosphère, et il y a ainsi près de la moitié et quelquefois plus, de la chaleur que la houille auroit pu produire si elle eût été brûlée dans son état naturel, qui est absolument perdue. Mais le coke produit une chaleur beaucoup plus intense dans le foyer resserré d'un fourneau, et l'on peut obtenir avec lui, toutes les fois que l'on n'a pas besoin de flamme, des effets que la houille, dans son état naturel, ne produiroit pas; souvent même on cherche à rendre le coke le plus compacte qu'il est possible, et l'on préfère, pour certains usages, celui qui a été préparé de manière à le rendre moins poreux. Tout cela résulte de ce que, plus il y a de matière combustible réunie dans un même espace, plus la température du foyer est élevée.

La carbonisation de la houille s'exécute en tas et à l'air libre, quand elle est en morceaux d'une certaine grosseur: quand il s'agit de houille menue ou en poussière, on ne peut y parvenir qu'en la mettant dans un fourneau qui a souvent de l'analogie avec le four du boulanger; quelquefois on n'y fait arriver la houille que quand il est rouge. Dans tous les cas, on cherche à produire, par la combustion d'une petite portion de ce combustible, la chaleur suffisante pour dégager les parties volatiles du reste; mais on ne laisse que le moins possible s'enflammer les bitumes, de peur d'avoir une combustion trop active, et afin de conserver le plus que l'on peut la partie charbonneuse solide et fixe. Le coke, formé par la distillation de la houille en grand, a été quelquefois employé, en Angleterre, à fondre les minérais de fer; mais il paroît que celui qui provient de la préparation du gaz éclairant et qui demeure dans les cor-

nues de ces appareils d'éclairage, ne peut servir avantageusement dans les fourneaux, même dans ceux où l'on refond la fonte de fer pour en former des objets moulés: peut-être cela tient-il à ce qu'il est trop poreux, et il ressemble alors sous ce rapport à la braise de boulanger ou au charbon préparé à feu ouvert, qui ne donne qu'une foible chaleur en brûlant.

La houille que l'on choisit pour faire le coke destiné à fondre les minérais de fer, doit toujours contenir fort peu de matières terreuses; mais il n'est pas indispensable d'employer la houille maréchale ou celle de première qualité et qui est la plus bitumineuse : en Angleterre, on préfère, pour les hauts-fourneaux, celle qui, méritant le nom de houille grasse, ne contient cependant pas trop de bitume, qui présente des feuillets minces, et qui est exempte de pyrite de fer et de pierres. Si l'on emploie quelquefois la houille la plus bitumineuse, c'est qu'en général elle contient moins de substances nuisibles au fer et de matières terreuses.

Le coke qui provient de la houille peu bitumineuse, mais pure, est moins poreux, plus dense, que celui qui est préparé avec la houille très-collante, et il offre alors l'avantage de donner une plus haute température dans les fourneaux.

La houille grasse augmente de volume par la carbonisation, et le volume du coke est quelquefois double de celui du combustible employé, surtout s'il n'a éprouvé aucune compression pendant l'opération : certaines variétés changent peu de volume, et quelques houilles maigres diminuent dans cette circonstance; cette diminution peut aller à la moitié du volume primitif. Dans quelques usines d'Angleterre la houille produit, en coke, la moitié seulement de son poids. Aux forges de Merthyrtydwill le produit en coke est des trois cinquièmes du poids de la houille employée. Dans les usines royales de la Silésie la houille produit un volume de coke égal au sien et seulement un tiers en poids.

Le coke de bonne qualité et bien fait est ordinairement fibreux ou lamelleux, quelquefois strié; il est léger et d'un gris métallique fort remarquable, peu tachant, dur et sonore: sa combustibilité est généralement moindre que celle de la houille, et celui qui provient des houilles peu bitumineuses l'est moins que celui qui provient des houilles grasses. En général, il exige dans les fourneaux où on l'emploie une plus grande quantité d'air à la fois, et comme il peut supporter sans inconvénient un courant d'air bien plus rapide que le charbon de bois, on en obtient une température beaucoup plus élevée: c'est ce qui fait que les hauts-fourneaux chauffés au coke fondent beaucoup plus de minérai dans le même temps, que ceux où l'on fait usage du charbon de bois.

Le coke doit être employé le plus tôt possible après sa fabrication; il attire promptement l'humidité de l'air, et peut ainsi en absorber un poids d'eau égal au sien : dans cet état il donne moins de chaleur que quand il est sec, et il n'y a aucun avantage qui compense cet inconvénient. Il faut avoir soin de le conserver dans des magasins bien secs.

III. *Du lignite ou bois bitumineux fossile.*

§. 7. Le bois bitumineux diffère de la houille par plusieurs propriétés, et notamment par celle de produire beaucoup moins de chaleur qu'elle dans les foyers des fourneaux: on ne s'en sert guère que pour les fourneaux d'évaporation; mais il paroît qu'on pourroit aussi l'employer au fourneau à réverbère. On a essayé de le convertir en charbon, mais il y avoit tant de déchet qu'on ne voit aucun cas où cette opération puisse être avantageuse. Les bois bitumineux contiennent des pyrites qui s'effleurissent à l'air, et ils se délitent ainsi, même dans les lieux les moins humides.

IV. *La tourbe.*

§. 8. La tourbe est, comme on sait, un combustible extrait

du sol de certaines vallées marécageuses. Elle sert principalement au chauffage domestique et aux fourneaux d'évaporation, dans les pays où on se la procure à bon marché. On peut aussi l'employer dans les fourneaux à réverbère, lorsqu'elle est de bonne qualité, et la faire servir ainsi au travail des métaux. L'odeur qu'elle exhale en brûlant est fort désagréable, et cette seule circonstance met obstacle à ce que son usage s'étende dans les contrées où l'on n'y est pas accoutumé. On évite cet inconvénient en la carbonisant dans des fourneaux disposés à cet effet, et on rend en même temps ce combustible d'un transport plus facile et moins coûteux. Le charbon de tourbe donne assez de chaleur en brûlant, et il a été essayé pour fondre les minérais de fer dans les hauts-fourneaux, principalement mêlé avec le charbon de bois. On a reconnu, pour celui qui étoit préparé avec la tourbe de la meilleure qualité, qu'il n'altéroit point la pureté du fer; mais il est resté des incertitudes sur l'utilité de son emploi, parce qu'on a cru voir qu'il falloit consommer presque autant de charbon de bois que si l'on n'eût pas mis de tourbe dans le fourneau.

Il y a plusieurs variétés de tourbe, dont les propriétés, comme combustible, sont assez différentes : nous ne nous arrêterons point à les décrire. Les meilleures tourbes ne produisent jamais plus du tiers de l'effet calorifique de la houille, c'est-à-dire qu'il faut consommer trois fois plus de tourbe que de houille pour obtenir le même résultat. Pour le chauffage des chaudières, des machines à vapeur, usage auquel la tourbe est assez convenable, on a indiqué qu'il falloit sept parties en poids de tourbe pour en remplacer une de bonne houille.

Comparaison des combustibles entre eux.

§. 9. Les avantages des combustibles ne sont pas absolus, c'est-à-dire indépendans des usages auxquels on les destine; et

comme il y a entre les divers combustibles d'un même genre d'assez grandes différences, il convient toujours de faire un essai spécial de celui que l'on ne connoît pas encore, surtout lorsqu'on fonde sur son emploi le succès de quelque fabrique, ou même lorsqu'il s'agit d'appliquer un combustible connu à de nouveaux usages. Cependant nous allons exposer divers résultats généraux, qui serviront à comparer les facultés calorifiques des divers combustibles entre eux, lorsqu'on les brûle dans des circonstances semblables, et qui offriront des limites auxquelles on pourra rapporter les faits observés dans la pratique.

TABLEAU *des quantités de chaleur produites par la combustion complète de diverses substances combustibles, dans le calorimètre à glace.*

SUBSTANCES COMBUSTIBLES.	QUANTITÉ DE GLACE FONDUE, EXPRIMÉE EN NOMBRE DE FOIS LE POIDS DE LA SUBSTANCE.
Charbon de bois	95 fois son poids de glace.
Hydrogène	295.60.
Phosphore	100.
Bois	50.
Houille	94 ou 95.
Tourbe	32.
Huile d'olives	148.
Bougie	133.

Suivant M. Dalton, la quantité de chaleur fournie par la combustion d'une livre de charbon de bois (et celle produite par un poids égal de houille est à peu près la même) suffiroit pour faire passer 45 livres d'eau du terme de la congélation à celui de l'eau bouillante. D'après le chimiste écossois Black, la houille de Newcastle, brûlée dans un fourneau bien construit, produit un effet tel, que 100 livres convertissent en vapeur, sous la pression ordinaire de l'at-

mosphère, 538 livres ou cinq fois et un tiers son poids d'eau. Il y a entre les houilles d'assez grandes différences : par exemple, on admet en Angleterre que la houille de Newcastle, qui passe pour la meilleure des trois royaumes, donne un quart de plus de chaleur que celle de Glasgow.

Des expériences de Lavoisier, qui ont été connues du comte de Rumford, indiquent les rapports suivans entre les différens combustibles ordinairement employés à vaporiser, dans les mêmes appareils, des quantités égales d'eau, c'est-à-dire, à produire des effets calorifiques ou des quantités de chaleur à peu près égales :

403	livres	de coke, ou.........	17 mesures ;
600	—	de houille, ou.......	10 —
600	—	de charbon de bois, ou	40 —
1089	—	de bois de chêne, ou.:	33 —

On trouve, pour du bois de chêne et de la houille employés successivement dans un fourneau à réverbère et dans ceux de verreries, qu'une partie en poids de houille équivaut à 1,70 de bois. Dans quelques verreries on a trouvé 1,66 pour du bois très-sec, ce qui est peu différent. Cependant, en général, on peut admettre qu'il faut deux parties de bois pour remplacer une partie de houille de bonne qualité.

Au reste, les quantités d'oxigène absorbées dans la combustion d'un même poids de ces deux substances sont à peu près dans le rapport de 1 pour le bois, et 2 pour la houille ; ce qui est une indication suffisante pour conclure que les quantités de chaleur dégagées doivent être, même en grand, à peu près dans ce rapport.

On a trouvé, en comparant les effets de la tourbe et du charbon de tourbe avec ceux de la houille, que, pour chauffer de l'eau dans des chaudières de teinturier, les rapports des effets étoient ceux des nombres 1,50:6,50:9,15.

Des physiciens allemands ont reconnu que 100 pieds cubes de tourbe, de la meilleure qualité, donnoient autant de

chaleur que 84 pieds cubes de bois de sapin, mais que la tourbe de médiocre qualité ne pouvoit en remplacer que 12 pieds cubes.

Suivant Rumford, une livre de bois de sapin, par sa combustion, peut réchauffer et porter de la glace fondante à l'ébullition $20\frac{1}{2}$ livres d'eau. Il admet pour la houille, qu'elle réchauffera de même, dans un fourneau, $36\frac{1}{2}$ fois son poids d'eau. Voici un tableau formé du résultat de diverses expériences faites dans des circonstances assez rapprochées de celles de la pratique.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES COMBUSTIBLES.	EAU CHAUFFÉE DE 100° C. en poids du combustible.	QUANTITÉ D'EAU BOUILLANTE convertie en vapeur.
Charbon de bois......	57.60 fois son poids.	10.9 fois son poids.
Houille..............	36.50.	6 ou 7.
Chêne sec...........	31.70.	=
Sapin...............	20.	=
Houille de Newcastle..	....	6.
Idem.	....	6.25.
Idem.	....	7.89.

Le coke doit être considéré comme produisant, à poids égal, à peu près autant de chaleur que le charbon de bois, du moins lorsqu'il ne contient que très-peu de matières terreuses.

Si l'on veut déduire des expériences les plus exactes des notions utiles pour la pratique, il faut comparer les quantités de chaleur mesurées dans le calorimètre à glace, qui sont un maximum ou une limite dont on ne peut espérer de s'approcher de très-près avec les effets calorifiques produits par l'unité de poids d'un combustible brûlé dans un fourneau : on verra par là de combien l'effet utile est éloigné de la limite théorique. C'est ainsi que l'on a reconnu que les fourneaux d'évaporation, construits avec le plus de soin et établis sur les meilleurs principes, laissoient encore perdre *un tiers* de la chaleur développée dans leur intérieur; d'au-

tres, moins bien disposés, n'en mettent à profit que la moitié ou seulement les deux cinquièmes.

3.e SECTION.

De l'air et de son action dans les fourneaux.

§. 1.er Pour brûler complétement un corps combustible, il est nécessaire de satisfaire à plusieurs conditions, dont les principales sont de maintenir ce corps à une température suffisamment élevée, et de lui procurer en même temps le contact de l'air atmosphérique souvent renouvelé : si l'on veut produire une combustion rapide, il faut une température plus élevée et un renouvellement plus fréquent de l'air, c'est-à-dire, un courant plus rapide.

Lorsque le combustible est en masse, on augmente les surfaces qu'il doit présenter, et par conséquent le nombre de ses points de contact avec l'oxigène atmosphérique, en le divisant en morceaux tels qu'il reste entre eux, lorsqu'ils sont accumulés dans le foyer, des interstices suffisans pour la circulation de l'air ; car un combustible réduit en poussière brûle plus difficilement que lorsqu'il est seulement concassé, parce qu'il ne satisfait pas à cette dernière condition. La disposition du combustible est aussi une circonstance importante, suivant son espèce : ainsi le bois refendu brûle bien sur un foyer plat, tandis que la houille et le charbon demandent d'être placés sur une grille. Il est également indispensable, pour produire une haute température dans un foyer, d'y accumuler la plus grande quantité possible de combustible dans l'espace le plus resserré, et d'y faire passer, dans un temps donné, le plus d'air que l'on pourra. Le rapprochement des morceaux de combustible l'un de l'autre est un avantage sous le rapport de l'augmentation de leur température par l'irradiation réciproque de la chaleur, lorsqu'on a pris les moyens convenables pour que le courant d'air n'en soit pas affoibli notablement. On atteint ce double

but de la manière la plus avantageuse, en faisant traverser le foyer rempli de combustible par un courant d'air qui est poussé dans le fourneau par une machine et avec une compression suffisante.

En général, il faut faire passer dans un foyer une quantité d'air atmosphérique beaucoup plus grande que celle qui seroit rigoureusement nécessaire pour brûler le combustible, si tout l'oxigène qu'il contient étoit absorbé. La mobilité de l'air, sa dilatation par la chaleur, et en outre l'action de celui qui est projeté par les machines soufflantes ou aspiré par les cheminées, ne permettent jamais un long contact, non-seulement d'une molécule avec les mêmes parties de combustible, mais non plus un long séjour du même air dans le foyer : il en résulte nécessairement qu'il sort des fourneaux beaucoup d'oxigène qui n'a point trouvé d'occasion favorable pour entrer en combinaison. Plus on veut brûler rapidement le combustible, c'est-à-dire, plus on veut élever la température d'un foyer, plus il faut augmenter le courant d'air en vîtesse et en volume ; il n'y a d'autres limites que celles résultant du refroidissement que produit inévitablement le renouvellement de l'air, et qui, à un certain point, l'emporte sur l'accroissement de chaleur qu'on attend d'une circulation plus prompte.

Lorsque l'on connoît la composition d'une substance combustible, on peut aisément calculer, d'après la théorie chimique, quelle seroit la quantité d'oxigène exactement nécessaire pour en opérer la combustion complète ; on en déduiroit encore plus facilement celle de l'air atmosphérique qu'il faudroit employer en supposant que tout l'oxigène qu'il contient (21 centièmes) fût absorbé. On trouveroit ainsi que, pour une partie de bois sec, on doit employer au moins 2,20 d'air atmosphérique, et pour une partie de houille, 4,40 parties d'air. Mais, comme nous l'avons dit, cette quantité calculée est un *minimum* et seroit tout-à-fait insuffisante :

l'expérience fait voir qu'il convient de faire passer dans les foyers où l'on veut déterminer une combustion fort active, trois fois autant d'air qu'il seroit rigoureusement nécessaire; de sorte que, pour le bois, on en fait entrer dans le foyer environ dix, et pour la houille vingt fois son poids.

Nous reviendrons incessamment sur les dispositions qui ont pour but de mettre le combustible en contact avec l'air, et les moyens dont on fait usage pour introduire de l'air comprimé dans les fourneaux, ou, en général, pour y produire un renouvellement rapide de l'air.

§. 2. L'air agit essentiellement, dans les fourneaux, en raison de l'oxigène libre, qu'il contient dans la proportion d'un cinquième environ; les quatre autres cinquièmes paroissent sans action chimique, et n'avoir qu'une influence passive ou mécanique sur les opérations. Ainsi l'oxigène atmosphérique produit la combustion, mais non pas à beaucoup près aussi rapidement ni aussi complétement qu'il le feroit s'il n'étoit point délayé dans quatre fois son volume de gaz azote. Enfin, ce dernier gaz, témoin inutile de la combustion, en diminue encore les effets en emportant du foyer une quantité de chaleur proportionnée à la température même de ce foyer et à la quantité considérable d'air qu'il faut employer pour brûler rapidement les corps combustibles.

L'oxigène de l'air exerce son action, toujours très-énergique dans les hautes températures, sur les métaux qui se trouvent souvent mêlés avec le combustible dans les fourneaux : c'est ainsi que le fer, le plomb, l'étain, le zinc, le cuivre, etc., réduits à l'état métallique par le contact des combustibles dans les fourneaux, sont souvent ramenés à celui d'oxide par le courant d'air servant à la combustion. On ne diminue cet inconvénient, qui ne sauroit être écarté complétement, qu'en opérant dans des vases fermés ou creusets, et dans les fourneaux, qu'en entretenant dans leur intérieur, comme on le fait ordinairement, une certaine quan-

tité de verre terreux ou *laitiers* destinés à envelopper les globules métalliques et à les préserver ainsi de l'oxidation lorsqu'ils viennent à traverser le courant d'air à l'endroit où il est introduit dans le foyer, c'est-à-dire, où il est le plus oxidant. Par exemple, dans la fonte des minérais de fer on dispose ses mélanges de manière qu'il y ait toujours environ le double en volume de laitiers relativement au fer métallique.

Ces laitiers servent en outre à recouvrir les métaux réduits et fondus dans les bassins ou creusets, où on les laisse rassemblés pour qu'ils se purifient par le repos.

Au reste, quelque chose que l'on fasse, toutes les fois que l'air pénètre dans les fourneaux où l'on réduit des oxides métalliques, on doit s'attendre qu'il y aura une succession de réductions et d'oxidations, dont il s'agit seulement d'assurer le résultat définitif : pour remplir ce dernier objet, on soustrait à l'action du courant d'air le métal obtenu, en plaçant le creuset qui le reçoit au-dessous de l'orifice d'entrée de l'air et par cela seul peu exposé à son action, et en tenant le métal constamment recouvert de laitiers, qui, plus légers, se tiennent à la surface du bain.

§. 3. L'action de l'air atmosphérique est due, ainsi que nous l'avons reconnu tout à l'heure, aux affinités très-énergiques et fort multipliées de l'oxigène libre qu'il renferme, et le gaz azote, en délayant le gaz oxigène, diminue son action à peu près comme s'il étoit dilaté de manière à occuper un volume quintuple de celui qu'il auroit s'il n'y avoit point de mélange. On peut ainsi se faire aisément une idée de la diminution de l'action produite par un volume donné de ce gaz ; mais ceux qui voudroient pénétrer plus avant dans cette matière, trouveront des faits analogues dans les recherches de M. Davy sur la production de la flamme.

Il y a encore d'autres actions de l'air ou, pour mieux dire, des courans d'air dans les fourneaux, les unes mécaniques,

les autres chimiques en même temps : il est bon de les connoître et de les apprécier, quoique les effets en soient bien moins généraux et bien moins importans que ceux qui sont dus à l'oxigène qu'il contient.

M. Gay-Lussac a fixé l'attention des chimistes et des métallurgistes sur quelques effets de l'air relativement à la vaporisation des métaux, et il ne faut pas négliger cette influence dans l'examen des phénomènes des fourneaux ; c'est pour cela que nous allons les rappeler en peu de mots : « Ce « seroit envain, » dit M. Gay-Lussac, dans le tome I.er des Mémoires d'Arcueil, « que l'on voudroit distiller du zinc dans « un vase n'ayant qu'une légère communication avec l'air « et également chauffé dans tous les sens, si la température « n'étoit pas suffisante pour le faire bouillir. Un mélange « d'oxide de zinc et de charbon donneroit pourtant, dans « les mêmes circonstances, un très-beau zinc métallique. On « sait aussi que, pour faire des fleurs de zinc, il faut, indé- « pendamment de l'oxidation, un courant d'air au-dessus de « la surface du métal. Le plomb, l'antimoine, le bismuth « fument beaucoup à une chaleur rouge dans des creusets « ouverts et paroissent par conséquent très-volatils ; dans des « creusets fermés, ils ne donneroient pas de sublimé et pa- « roîtroient très-fixes. » Ce n'est pas la nature chimique de l'air qui, seule, produit ces phénomènes ; un courant d'un gaz quelconque, de vapeurs et même de vapeur d'eau, peut produire un entraînement de cette espèce. L'action de semblables courans est fort remarquable ; et les recherches de feu M. Descotils (Journal des mines, tome XXVII), qui en ont constaté les effets sur le sulfure de plomb et le plomb métallique, ne laissent aucun doute sur leur importance dans certaines opérations métallurgiques relatives aux minérais de plomb. « On peut établir comme un fait certain, dit-il, que la « sublimation du sulfure de plomb est singulièrement favo- « risée par un courant de gaz quelconque, qui peut d'ailleurs

« agir par ses propriétés chimiques. Lorsqu'on emploie un « courant d'air atmosphérique, l'oxigène contenu dans ce- « lui-ci convertit une portion du sulfure en sulfate de plomb, « qui se volatilise et est entraîné par le courant, d'une ma- « nière analogue à ce qu'on voit arriver dans les fourneaux « où l'on traite ce minérai. On ne trouve en résidu (et « c'est alors du plomb métallique) que la moitié environ « du métal qui étoit contenu dans le sulfure. » Cela explique très-bien les pertes notables qui ont lieu sur le plomb, dans le traitement de la galène au fourneau à manche, à l'aide d'un grillage préliminaire, et l'avantage que l'on trouve à employer le fer comme agent de séparation à l'égard du soufre, parce que, dans ce dernier cas, il ne se forme aucune substance gazeuse. Il paroît que ces effets des courans d'air, fort notables quand il s'agit du plomb, du zinc, de l'antimoine et peut-être encore de quelques autres métaux, sont insensibles sur le cuivre, l'argent et autres peu oxidables par l'air.

§. 4. Enfin, il y a des effets tout-à-fait mécaniques de l'air qui ne sont pas sans quelque influence sur les opérations qui se pratiquent dans les grands fourneaux, surtout lorsqu'ils sont traversés par des courans d'air très-rapides : c'est ainsi que les minérais en poussière, ou trop légers par eux-mêmes, courent risque d'être rejetés au dehors par le vent des machines soufflantes, et qu'on est obligé d'y apporter remède en les mouillant, ou bien de quelque autre manière. De même, dans les hauts-fourneaux à fer, il arrive souvent que le charbon ou le coke, plus légers que le minérai, sont soulevés davantage, laissent celui-ci descendre plus vîte, et se séparent ainsi de ce qui devoit demeurer avec eux.

Il ne faut pas oublier que les gaz ou vapeurs qui se forment par la combustion, contribuent à augmenter le courant, et produisent, comme l'air atmosphérique, les effets dont nous venons de parler.

Remarquons aussi, à cette occasion, que les produits aéri-

formes de la combustion dans les fourneaux sont un mélange, avec le gaz oxigène qui n'a pas été absorbé, de gaz azote, de gaz acide carbonique, et surtout de gaz oxide de carbone qui paroît se former en abondance dans les hauts-fourneaux, soit qu'il soit un produit immédiat de la combustion du charbon dans les circonstances où elle s'opère, soit, ce qui est plus vraisemblable, que l'acide carbonique formé se décompose en traversant une haute colonne de charbon embrasé : c'est principalement sur l'existence de ce gaz imparfaitement brûlé que repose le chauffage de divers appareils à l'aide de la flamme qui sort des hauts-fourneaux. On a fait aussi quelquefois servir ces gaz à l'éclairage, du moins comme un objet de curiosité. On peut consulter à ce sujet un Mémoire de M. Berthier, ingénieur en chef des mines, inséré dans le tome XXXV du Journal des mines.

4.e SECTION.

Des fondans.

§. 1.er On donne le nom de *fondans* aux substances que l'on ajoute à des minérais pour faciliter l'opération de les fondre dans un fourneau : ce sont ordinairement des substances terreuses, ou des scories ou laitiers provenant des fontes précédentes. Les minérais métalliques sont, comme on sait, en général composés d'*une gangue*, combinée ou mêlée avec des oxides ou des sulfures métalliques : c'est cette gangue qui doit former le laitier dont on a ordinairement besoin dans l'intérieur d'un fourneau. Cependant il peut arriver qu'elle ne soit pas assez abondante, ou, ce qui est le cas le plus fréquent, que les substances terreuses dont elle est composée ne se trouvent pas dans la proportion convenable pour prendre, à la température habituelle des fourneaux, le degré de liquidité que l'on désire lui donner. On obtient les résultats les plus utiles en ajoutant au minérai une ou plusieurs substances terreuses, dont la nature et la quantité devront être déterminées, pour

donner au mélange la fusibilité convenable. A la vérité, on augmente ainsi la masse des matières à fondre; mais aussi on rend possibles, ou du moins plus faciles, et par suite moins coûteuses sous le rapport du combustible, différentes opérations métallurgiques qui ne le seroient pas autrement.

Les principales conditions auxquelles doivent satisfaire les fondans, sont d'abord de ne point nuire à l'extraction du métal que l'on veut retirer des minérais, ni à sa qualité: c'est ainsi que, relativement au fer, les substances qui d'ailleurs pourroient être de très-bons fondans des gangues, mais qui contiendroient du soufre ou du phosphore, ne doivent jamais être employées. Les fondans doivent remplir leur objet avec économie, c'est-à-dire, d'abord épargner le combustible en facilitant la fonte; ensuite il faut les choisir parmi les matières qui sont le plus abondantes et qui reviennent au moindre prix, à raison de leur exploitation ou de leur achat et de leur transport jusqu'au fourneau.

En général, les verres terreux qui se forment dans les fourneaux, sont *des silicates* à plusieurs bases, soit terreuses, soit oxides métalliques. On peut se diriger dans le choix et les proportions des fondans, par des essais faits en petit, dans des creusets, et ensuite en grand dans les fourneaux eux-mêmes. Mais il peut être souvent fort utile d'employer l'analyse chimique : en l'appliquant à la recherche de la composition des scories ou laitiers qui sortent d'un fourneau, quand sa marche est régulière et reconnue pour avantageuse, on connoîtra quelles sont les substances qui se trouvent alors dans le fourneau, et dans quelles proportions elles doivent y être pour former de bons laitiers. L'analyse des minérais faisant connoître de même leur composition, on verra tout de suite ce qu'il faut y ajouter, ou comment il faut les mêler entre eux pour obtenir un résultat satisfaisant. C'est certainement le meilleur guide que l'on puisse suivre: malheureusement il n'est pas à la portée de tout le monde; il faut beaucoup d'habi-

tude, et un assez grand nombre de réactifs et d'instrumens, pour opérer avec quelque exactitude et arriver à des résultats certains.

§. 2. On sait maintenant que la fusion des terres les unes par les autres n'a pas lieu par entraînement, comme on le croyoit autrefois, et en raison de la présence d'une terre fusible; il est bien reconnu qu'une terre infusible (et elles le sont presque toutes, lorsqu'elles sont soumises seules à la chaleur des fourneaux) rend très-aisément fusibles d'autres terres dont le mélange ne l'est point du tout : c'est donc un effet d'affinités chimiques très-déterminées. On a fait beaucoup de recherches sur ces actions mutuelles des terres, et c'est dans leurs résultats généraux qu'il faut chercher des règles de conduite pour faire usage des fondans terreux; en voici le résumé relativement aux quatre terres qui se rencontrent le plus ordinairement dans les roches, savoir, *la silice, l'alumine, la chaux* et *la magnésie*.

1.° Les terres sont infusibles seules, lorsqu'elles sont bien pures : il s'en suit qu'un minérai qui seroit composé d'un oxide métallique ayant pour gangue du quartz, ne pourroit être traité seul dans un fourneau de fusion, parce que l'oxide, une fois réduit, laisseroit de la silice pure, qui ne pourroit point se fondre; et par conséquent, d'un côté, le métal ne se sépareroit point complétement, et de l'autre, le fourneau s'engorgeroit. Ces effets auront lieu nécessairement, à moins que les cendres du combustible ne suffisent pour vitrifier la silice, ce qui est un cas tout particulier, ou bien que cette terre ne retienne, en combinaison, suffisamment d'oxide pour former avec lui un composé fusible; mais alors il y aura une diminution dans le produit, c'est-à-dire une perte sur le métal contenu, ce que l'on peut souvent éviter en employant un fondant.

2.° Les mêmes terres (et il s'agit toujours des quatre principales), mêlées deux à deux, doivent être également regar-

dées comme à peu près infusibles, en quelque proportion que ce soit. Cependant on aperçoit qu'il y a un commencement de fusion qui peut augmenter beaucoup par la présence d'un oxide métallique ou d'une autre terre, même en très-petite quantité. Tout porte à croire que les mélanges de silice et de chaux, en certaines proportions et avec très-peu d'oxide de fer ou de manganèse, peuvent se fondre et former dans les fourneaux à fer un laitier qui possède toutes les qualités désirables.

3.° Un grand nombre, et même la plupart, des mélanges *ternaires* des quatre terres indiquées, sont fusibles : il faut cependant en excepter ceux de chaux, alumine et magnésie, si ce n'est dans le cas où la chaux ou l'alumine (l'une ou l'autre) forme la moitié du mélange. En général, la magnésie diminue la fusibilité des mélanges, et l'on ne doit jamais l'y faire entrer en proportion trop considérable.

4.° Les résultats de toutes les expériences s'accordent pour faire voir que le mélange des quatre terres principales est presque toujours fusible en toute proportion, si ce n'est dans un petit nombre de cas particuliers.

§. 3. On emploie aussi comme fondans, mais seulement dans certains cas ou dans quelques localités, la chaux fluatée, appelée *spath fluor* à cause de cette propriété, la baryte sulfatée et même la chaux sulfatée.

Le quartz est un excellent fondant à l'égard des oxides métalliques, et principalement pour ceux de fer, de plomb, etc. Enfin, les alcalis et les sels alcalins contenus dans les cendres du charbon de bois doivent être considérés comme des fondans à l'égard des substances terreuses : peut-être même exercent-elles, malgré leur petite quantité, une influence nuisible sur les parois des hauts-fourneaux où l'on emploie le charbon végétal.

Pour les minérais de fer, qui presque tous sont argileux ou calcaires, on fait usage de deux espèces de fondans, qui

correspondent à ces deux natures de gangue : aux premiers on ajoute de *la castine* ou pierre calcaire plus ou moins pure, souvent une espèce de *marne;* aux minérais calcaires qui contiennent trop de chaux, on ajoute, sous le nom d'*herbue*, une terre ou pierre argileuse, ou une marne magnésienne. Enfin, un moyen d'obtenir dans les fourneaux un composé convenablement fusible, consiste à mêler en certaines proportions des minérais dont les gangues sont différentes. Cette méthode est fréquemment mise en usage par les maîtres de forges, qui y trouvent souvent, outre l'avantage de ne rien mettre de stérile dans leur fourneau, celui d'améliorer la qualité du fer qui serait produit par un seul de ces minérais.

§. 4. Terminons ce qui concerne les fondans par une observation générale, applicable par conséquent à tous les cas où on les emploie : c'est qu'on ne doit s'en servir que quand cela est reconnu indispensable, et préférer toujours ceux qui produisent le même effet avec la moindre masse. Cela est fondé sur ce qu'en introduisant une matière quelconque dans un fourneau, elle exige toujours une certaine quantité de combustible pour être fondue : d'où il suit que toute substance que l'on y met inutilement, occasionne une dépense de combustible que l'on auroit pu éviter. Dans les hauts-fourneaux où l'on traite les minérais de fer, on compte qu'il faut employer une partie de coke pour fondre une partie de minérai ou de son mélange avec les fondans : quand on se sert de charbon de bois, il ne faut guère en consommer que les deux tiers en poids de la masse à fondre. On observe à peu près le même rapport dans la fonte des minérais de cuivre peu riches et contenant beaucoup de gangue terreuse.

CHAPITRE III.

Des fourneaux ou appareils dont on se sert pour opérer économiquement la combustion et employer avantageusement la chaleur produite.

Les appareils et machines dont on fait usage en métallurgie sont de deux sortes : les *fourneaux* ou appareils de combustion et d'opération, et les *machines soufflantes*, qui sont une dépendance nécessaire de quelques-uns d'entre eux. Il y a un assez grand nombre de fourneaux qui n'ont point besoin de machines soufflantes, ou du moins dans lesquels celles-ci se trouvent remplacées par des dispositions particulières qui suffisent pour déterminer un courant d'air proportionné aux besoins de l'appareil. Sous ce rapport, tous les fourneaux employés peuvent former deux classes bien distinctes : ceux qui exigent une machine soufflante, et qu'on désigne sous le nom de *fourneaux à courant d'air forcé;* et ceux qui n'en ont pas besoin, et qu'on appelle *fourneaux à courant d'air naturel.*

Une *fonderie* se compose ordinairement des appareils et des machines dont on peut avoir besoin pour le traitement de certains minérais et le raffinage des métaux qui en proviennent; enfin, on y comprend aussi les magasins, dont on ne peut se passer, pour renfermer et mettre en réserve les combustibles, les minérais et les produits obtenus.

1.re SECTION.

Des fourneaux.

I. *De la disposition générale et de la construction des fourneaux.*

§. 1.er L'espace circonscrit dans lequel se trouvent renfermées les substances à traiter et le combustible destiné à leur faire éprouver une température plus ou moins élevée, s'appelle

un fourneau. Cet appareil est ordinairement muni d'orifices ou d'entrées, auxquelles on donne souvent le nom de *portes*, qui servent à y introduire et à en faire sortir diverses matières, ainsi qu'à pratiquer diverses manipulations. Les fourneaux sont ordinairement traversés par un courant d'air indispensable pour la combustion, et à sa sortie ce courant entraîne avec lui diverses substances volatiles, telles que les gaz et les vapeurs formées par la combustion, ainsi que certains produits de l'opération. La construction des fourneaux présente des difficultés sous plusieurs rapports. Il faut d'abord se procurer des matériaux capables de résister aux effets de la chaleur; ils ne doivent ni se fendre, ni éclater par son impression, ni se fondre par suite de son action prolongée. On fait souvent usage de certains *grès*, après en avoir fait l'essai en petit ou en grand; plus souvent, et cela est applicable à presque toutes les localités, on fait exprès des *briques* avec de l'argile réfractaire, c'est-à-dire, qui ne contient ni chaux ni oxides métalliques, et qu'on emploie après l'avoir calcinée légèrement et en la mêlant avec un tiers au moins de vieilles briques réfractaires non vitrifiées. On assure que celles qui sont faites dans des moules de fonte et par la compression due au choc d'un mouton, sont préférables à toutes les autres.

La chaleur produit sur l'ensemble des parties qui composent un fourneau une action tendant à les écarter, à les disjoindre, et par conséquent à les détruire : on la combat en reliant leurs diverses parties par des barres et des liens de fer forgé, qui se prêtent aux diverses variations que les changemens de température font éprouver aux dimensions des fourneaux.

On doit aussi chercher à éloigner des fourneaux, et surtout de leurs fondations, toutes les causes d'humidité que l'on peut soupçonner : l'eau qui s'introduit dans la maçonnerie non-seulement refroidit beaucoup le foyer et peut

le rendre incapable de produire les effets qu'on en attend, ou du moins occasioner une consommation inutile du combustible; mais en outre, en se réduisant en vapeur, elle écarte les pierres de construction et amène une prompte dégradation de l'ensemble. Un des moyens les plus utilement employés consiste à ménager, à la base des fourneaux, des canaux voûtés où l'air puisse circuler, et d'où surtout la vapeur d'eau puisse sortir. Presque tous les fourneaux à réverbère sont établis sur voûte. Enfin, on a été jusqu'à ménager, dans la maçonnerie fort épaisse qui entoure *la chemise* des hauts-fourneaux à fer, des canaux ou *évents* que l'on garnissoit de tuyaux de tôle, afin de faciliter la sortie de la vapeur d'eau du milieu des paremens : toutefois on a abandonné cette pratique comme peu utile. C'est une maxime générale de n'employer un fourneau neuf que quand il est bien sec, et de le chauffer toujours avec beaucoup de précaution, lorsqu'il est demeuré long-temps sans avoir été mis en feu.

Nous avons dit que souvent les matières que l'on mettoit dans les fourneaux, par exemple, certaines terres et tous les oxides métalliques, exerçoient une action chimique sur les parois de ces appareils et les corrodoient promptement. Pour remédier à cet inconvénient grave, on se contente quelquefois de choisir ses matériaux parmi ceux que l'on a reconnu opposer la résistance la plus longue à cette action, et on les remplace lorsqu'ils sont presque détruits : d'autres fois on fait usage de poussière de charbon, ordinairement mêlée avec de l'argile et humectée ; on peut ainsi donner à ce mélange, qu'on appelle *brasque*, les formes que l'on désire. Le charbon est, comme on sait, infusible et presque indestructible, lorsqu'il ne se trouve pas en contact avec l'oxigène libre ou combiné. C'est dans des bassins formés dans la brasque que l'on recueille et que l'on conserve pendant plusieurs heures le plomb, le cuivre, l'étain et autres métaux qui viennent d'être obtenus de la fonte des minérais.

§. 2. Le choix des fourneaux, relativement aux opérations que l'on a dessein d'exécuter, et surtout les bonnes proportions de celui que l'on a choisi, ont la plus grande influence sur le succès des procédés métallurgiques, et même des entreprises de cette nature. Les fourneaux ont des formes et des dimensions différentes, suivant les opérations auxquelles ils doivent servir, et l'on trouvera à l'article de chaque métal la description de ceux qui sont employés à son traitement; mais ces appareils, considérés par genres, ont des propriétés tout-à-fait distinctes, qu'il est utile d'exposer ici.

1.° Quelquefois il est de nécessité, ou du moins plus convenable, de mettre en contact ou de mêler ensemble le minérai avec le combustible, et cela donne lieu à des fourneaux prismatiques plus ou moins alongés dans le sens vertical, et qu'on appelle *hauts-fourneaux*, *fourneaux courbes*, *fourneaux à manche*, etc. Ils sont à courant d'air forcé, et l'on n'y emploie guère que des combustibles convertis en charbon.

2.° D'autres fois on ne veut pas mettre en contact les substances à chauffer avec le combustible (comme le fer avec la houille), ou du moins cela n'est pas nécessaire; alors on chauffe avec la flamme les matières placées non loin du foyer et dans un espace fort circonscrit : c'est *le fourneau à réverbère*, dont le nom dérive de ce que les matières sont échauffées non-seulement par le contact immédiat de la flamme, mais encore par l'irradiation qui a lieu de la surface intérieure d'une voûte qui s'échauffe fortement, et dont la première destination étoit sans doute d'obliger la flamme et le courant d'air chaud à toucher les matières placées sur l'âtre. On y emploie les combustibles dans leur état naturel, et l'on y trouve encore l'avantage de voir constamment et de suivre tous les changemens qui ont lieu dans les matières que l'on traite : on peut aussi ajouter à celles-ci certaines substances, les mêler ensemble, les rapprocher ou les éloigner de l'endroit

où se trouve la plus grande chaleur; enfin, arrêter l'opération quand on veut, et la recommencer sans grande préparation ni perte de temps. Tous ces avantages ne se trouvent point dans les grands fourneaux, où la matière à traiter est mêlée avec le combustible. Cependant, ce qui a peut-être le plus contribué à étendre l'usage des fourneaux à réverbère, c'est qu'ils n'ont pas besoin de machines soufflantes, et qu'ils sont, par cette raison, indépendans de toute force motrice ; on n'est plus obligé de placer son fourneau auprès d'un cours d'eau ou d'employer des chevaux à faire mouvoir des soufflets, ce qui est toujours fort coûteux et peu en usage pour les fourneaux d'une certaine grandeur. On sait que, dans les fourneaux à réverbère, et généralement dans tous ceux où l'on chauffe avec la flamme, la circulation de l'air à travers le combustible, ou ce qu'on appelle *le tirage*, est déterminé par une cheminée plus ou moins élevée, dans laquelle l'air, très-échauffé et par conséquent très-raréfié, s'élève en raison de la différence de sa pesanteur spécifique, comparée à celle de l'air extérieur et de la hauteur de la colonne d'air dilaté.

3.° Enfin, il y a des opérations où les matières qu'il s'agit de traiter doivent être maintenues à l'abri du contact de la flamme et même de l'air; alors on les renferme dans des creusets plus ou moins grands, que l'on chauffe extérieurement en les plaçant dans un fourneau convenablement disposé. Tantôt on les chauffe par la flamme d'un combustible, et alors ces creusets sont mis sur une banquette pratiquée dans l'intérieur du fourneau, comme on le voit dans les fours de verreries; quelquefois on les chauffe en même temps par dessous, comme on le fait pour les caisses à cémenter le fer. Enfin, on se sert aussi des combustibles carbonisés, ainsi que le pratiquent les fondeurs de cuivre, de bronze, et même ceux qui fabriquent l'acier fondu : dans ce cas, le creuset est placé sur une grille, au milieu du combustible, mais son fond doit être appuyé sur un cylindre de terre réfractaire

de même diamètre et élevé de plusieurs pouces, afin que l'air froid qui traverse la grille ne le refroidisse pas trop et de peur qu'il ne le fasse éclater; c'est ainsi que l'on chauffe les creusets de petite dimension, quand on fait des essais de minérais par la voie sèche. Nous n'entrerons dans quelques détails que relativement aux deux premiers genres de fourneaux.

II. *Des fourneaux dans lesquels les matières à traiter sont mêlées avec le combustible.*

§. 3. Nous avons déjà indiqué les propriétés caractéristiques de ce genre de fourneaux, en disant qu'on y projetoit de l'air à l'aide d'une machine, et qu'on n'y employoit ordinairement que des combustibles carbonisés; il n'est cependant pas impossible d'y brûler du bois à l'état naturel et seulement coupé en petits morceaux, ainsi qu'on l'a vérifié, en Suède, sur des hauts-fourneaux à fer.

L'intérieur de ces fourneaux est une cavité prismatique, plus ou moins régulière, dont l'axe est vertical; c'est une espèce de *puits* (ce qui leur a fait donner en allemand le nom de *Schacht-Ofen*), qui présente ou un prisme droit comme dans les fourneaux à manche, ou un assemblage de pyramides ou de cônes, comme dans les hauts-fourneaux à fer. Quelques-uns, cependant, sont très-bas, comme les *foyers de forge* et ceux où l'on traite le minérai de fer par la méthode catalane, le *fourneau écossois* employé pour le plomb, et peut-être quelques autres.

On introduit, par l'orifice supérieur, les substances à fondre avec le combustible; et les matières fondues, produit de l'opération, sortent par la partie inférieure, où se trouve un orifice plus ou moins grand, disposé à cet effet : ainsi tout ce qui entre dans un fourneau de cette espèce, et qui n'est point susceptible d'être réduit en vapeur par la chaleur qui s'y développe, doit parcourir toute la hauteur du fourneau et en sortir à l'état liquide. Il convient de remarquer, comme

une propriété de ce fourneau, qu'il y a constamment dans son intérieur un *mouvement descensionnel* à peu près uniforme quand il est en bon train[1]. Lorsque quelque substance s'arrête dans l'intérieur, parce qu'elle n'est pas suffisamment fluide, on dit qu'il y a *embarras*, et c'est un *engorgement* lorsque les matières ne descendent plus du tout. Alors on cherche à dissiper l'engorgement, soit en augmentant la chaleur du fourneau, soit en ajoutant des fondans : quand ces moyens sont insuffisans, il faut arrêter l'opération, démolir en partie le fourneau pour retirer les matières arrêtées, et le rétablir

1 Si l'on vouloit reconnoître tous les mouvemens qui ont lieu dans l'intérieur d'un fourneau, il faudroit considérer d'abord que les matières solides, chargées à sa partie supérieure, prennent un mouvement descendant, en raison de la diminution successive, mais assez prompte, du volume du charbon qui est dissous par l'air atmosphérique; tandis que les substances volatiles et l'air introduit dans le fourneau possèdent un mouvement ascensionnel beaucoup plus rapide. Nous avons dit que toutes les matières solides n'avoient pas un mouvement uniforme, c'est-à-dire qu'il ne s'exécutoit pas rigoureusement par tranches horizontales, et que la différence des pesanteurs spécifiques avoit quelque influence sur le résultat; mais il y a aussi des différences entre les substances devenues liquides et celles qui sont demeurées à l'état solide; enfin, il y en a entre les diverses matières fondues, suivant le degré de fluidité dont elles jouissent, leur adhérence aux corps solides qu'elles rencontrent et leurs pesanteurs spécifiques. Ces substances liquides tombent et filtrent goutte à goutte à travers la colonne de matières solides, et c'est ainsi que l'on conçoit que s'opère principalement la réduction des oxides métalliques dans beaucoup de fourneaux. D'un autre côté, les gaz et les vapeurs qui traversent la même colonne, en sens opposé, y occasionnent aussi des changemens chimiques, tels que des oxidations et des dissolutions. On voit par là qu'il se produit dans un fourneau élevé, mais d'une manière beaucoup plus compliquée et en quelque sorte multiple, des effets analogues à ceux pour lesquels est disposé l'appareil imaginé par M. Clément, professeur au Conservatoire des arts et métiers, et qu'il a appelé *cascade chimique*.

avant de recommencer, ce qui entraîne toujours plus ou moins de perte de temps, de combustible et par conséquent d'argent. Mais quand la marche d'un fourneau est régulière, le remplissage, qu'on appelle la *charge,* a lieu à des intervalles de temps à peu près égaux, et il en est de même pour la sortie des matières.

§. 4. Nous avons déjà parlé de deux orifices principaux : celui de la partie supérieure, qu'on appelle *gueulart* dans les hauts-fourneaux à fer et par lequel on charge, et celui inférieur, par où sortent les matières liquides. Il y en a un troisième, par lequel on introduit l'air; c'est l'*orifice* ou le *trou de la tuyère :* quelquefois il y a plusieurs orifices de tuyère, comme il peut y avoir plusieurs orifices de *coulée* ou de *percée.*

La position des orifices de tuyère est déterminée, d'une part, par la nécessité d'entretenir toutes les parties du fourneau suffisamment échauffées, et de l'autre, de se réserver, à la partie inférieure, un endroit encore fort échauffé et néanmoins à l'abri de l'action trop oxidante de l'air. On atteint ce double but en plaçant la tuyère à une petite hauteur au-dessus du fond; ce sera seulement quelques pouces dans les fourneaux peu élevés, et un à deux pieds au plus dans les plus hauts.

L'ouverture de la tuyère est ordinairement garnie d'un conduit ou *tuyau* (d'où lui vient son nom), qui est en terre ou en métal, et destiné à conduire l'air dans l'intérieur du fourneau : dans quelques-uns d'entre eux (les foyers de forge, par exemple) elle s'avance plus ou moins au-delà de la paroi intérieure ; mais dans les grands fourneaux, où la chaleur est fort considérable, et même dans ceux où l'on fond les oxides de plomb, cuivre, etc., toute matière se fondroit promptement, et la tuyère n'est jamais saillante.

Dans les fourneaux à manche, qui servent à fondre les minérais de plomb ou de cuivre, on profite d'un accident pour suppléer à cette impossibilité de prolonger la tuyère

dans l'intérieur du fourneau, et l'on porte ainsi le vent beaucoup plus loin qu'on ne le feroit sans cela. Comme il s'amasse continuellement, vers la tuyère, des matières fondues que le courant d'air refroidit et finit par solidifier, il se forme une espèce de tuyau ou cylindre creux, au milieu duquel passe le vent; c'est ce que les fondeurs appellent le *nez*, qui fait un véritable prolongement de la tuyère : dans les hauts-fourneaux à fer on n'en laisse point former, mais dans les fourneaux à manche on le forme exprès et on le conserve d'une certaine longueur. Il y a des avantages ou des facilités à fondre de cette manière.

C'est dans la tuyère que se réunissent les *buses* ou *canons* des soufflets, souvent au nombre de deux; pour cela elle est conique, mais son petit orifice, tourné vers l'intérieur du fourneau, n'a jamais plus de deux pouces ou deux pouces et demi de diamètre : enfin, on lui donne quelquefois une certaine *inclinaison*, soit au-dessus du plan horizontal, soit au-dessous, et quelquefois même une *déclinaison*, c'est-à-dire que sa direction fait un angle, qui n'est pas toujours droit, avec la face intérieure dans laquelle elle est implantée. La direction de la tuyère a toujours beaucoup d'influence sur la conduite des opérations; on le conçoit facilement, quand on sait que c'est sa position qui détermine l'endroit de la plus grande chaleur dans le fourneau, et qu'en la faisant plonger ou en la relevant, on augmente la chaleur ou on la diminue dans le creuset.

§. 5. La détermination de l'endroit où se trouve la plus grande chaleur dans un fourneau, n'est pas susceptible d'une précision géométrique; mais on voit qu'elle doit se trouver là où a lieu la combustion la plus rapide : or, c'est évidemment vers la tuyère et un peu au-dessus, parce que l'air tend à s'élever dès le moment où il en sort, tant à cause de la dilatation qu'il éprouve, qu'à raison du mouvement ascensionnel déjà imprimé à toutes les substances aériformes qui se trouvent dans le fourneau.

C'est à raison de ce mouvement qu'il est de toute nécessité de faire arriver l'air à la partie inférieure de l'appareil, pour qu'en s'élevant ensuite, il échauffe les parties supérieures, prépare les matières à la fonte, et produise cet effet avantageux, qu'elles n'arrivent, ainsi que le combustible lui-même, à l'endroit de la plus grande chaleur, qu'après avoir acquis une température peu différente de celle qui s'y développe, et par conséquent sans la diminuer sensiblement.

§. 6. On voit, d'après tout ce que nous venons de dire, que la combustion et les diverses opérations chimiques, telles que la réduction des oxides métalliques, la combinaison et vitrification des terres, et la séparation des métaux, tout cela s'opère dans le même espace et pour ainsi dire confusément ensemble. C'est donc une opération très-compliquée que celle de la fonte des minérais dans les fourneaux où ils sont jetés pêle-mêle avec les combustibles; elle l'est d'autant plus, qu'une fois mises dans le fourneau, on ne peut plus guère agir immédiatement sur ces matières, et que l'on ne juge de l'état de l'opération que par des signes peu certains et presque par conjecture : aussi l'art du fondeur est-il extrêmement difficile; une longue pratique, beaucoup d'attention et un travail pénible mettent seulement en état d'éviter les accidens graves. Le fondeur doit apercevoir par de foibles indices les dérangemens qui se préparent, en démêler les causes, en assigner le remède, et l'appliquer à un instant où un œil moins exercé n'aperçoit point encore de changement dans la marche du fourneau. Ces indices, sur lesquels nous ne nous arrêterons point, sont l'obscurcissement de la tuyère, par l'orifice de laquelle on doit toujours apercevoir une lumière plus ou moins brillante; l'épaisseur ou la fluidité trop grande des laitiers ou scories; leur couleur, celle de la flamme qui sort du fourneau; enfin, le bruit que fait l'air qui traverse les matières, et celui qui résulte souvent de leur chute dans l'intérieur, lorsqu'elles ne descendent pas régulièrement, mais

par secousses. Enfin, à l'aide d'un *ringard* (barre de fer pointue), le fondeur sonde les parties inférieures, et il détache les matières agglutinées lorsqu'il en trouve d'attachées aux parois du fourneau. Les principaux moyens d'action du fondeur sur les matières contenues dans un fourneau, résultent principalement de ceux qui peuvent augmenter ou diminuer la température de son intérieur. Il en existe plusieurs pour arriver au même but; mais il faut choisir et employer les plus convenables dans chaque circonstance, et quelquefois les combiner ensemble. C'est ainsi que tantôt on augmente ou l'on diminue la quantité de combustible par rapport à la masse de matière à fondre; tantôt on augmente ou l'on diminue le vent; enfin, on ajoute quelquefois des fondans ou d'anciennes scories, qui agissent comme dissolvans.

Les principales causes des dérangemens d'un fourneau sont les variations dans la qualité du combustible, ou bien dans la nature et la pureté des minérais; quelque changement dans la marche des machines soufflantes; enfin, des dégradations dans son intérieur : souvent l'inattention des fondeurs y contribue beaucoup, parce que, oubliant de charger le fourneau quand il en est temps, ils le surchargent ensuite tout d'un coup pour cacher et dans l'intention de réparer leur faute.

La conduite d'un fourneau consiste à l'entretenir constamment rempli (ou à peu près) de combustible et des matières à fondre, dans les proportions que l'expérience a fait connoître comme les plus avantageuses : le fondeur doit toutefois faire varier ces proportions suivant l'état du fourneau, sa chaleur ou son refroidissement. Il veille à tenir la tuyère en tel état que l'air pénètre bien dans l'intérieur; il surveille le travail des machines soufflantes; il prépare les mélanges, ordonne les charges et fait ensuite enlever les scories ou laitiers; puis il fait la *percée* pour faire couler le métal hors du

fourneau, lorsque le creuset est rempli. Le fondeur est chargé de préparer le fourneau, de le débarrasser des engorgemens qui surviennent; enfin, de le réparer toutes les fois qu'il en a besoin : il a ordinairement avec lui un aide et plusieurs manœuvres. Dans quelque circonstance que l'on se trouve, il ne faut jamais perdre de vue que l'objet de toute opération métallurgique est non-seulement d'obtenir un certain résultat utile, mais encore avec la moindre dépense qu'il sera possible : en conséquence on doit toujours choisir les moyens les moins coûteux, et épargner surtout le combustible et la main d'œuvre.

§. 7. Dans le genre de fourneaux dont nous venons de donner une idée, on en distingue plusieurs espèces, que nous allons indiquer sommairement.

Les *fourneaux courbes* ou *fourneaux à manche* servent à fondre les minérais de plomb, de cuivre, d'étain, etc.; ils sont peu élevés et on les charge par devant : mais ce qui les caractérise surtout, c'est que le creuset dans lequel se rassemblent les matières fondues et qu'on appelle *bassin d'avant-foyer*, se trouve en avant du corps du fourneau et, pour ainsi dire, extérieur à celui-ci; un petit canal incliné, creusé dans la brasque, ainsi que le bassin dont nous venons de parler, sert à y conduire les matières, et on l'appelle *trace;* enfin il y a toujours un second bassin dit *de percée*, ou inférieur, qui peut communiquer avec le premier. Le devant du fourneau, que l'on appelle *poitrine*, est fermé, dans sa partie inférieure, par des briques ou des pierres, de manière que l'on peut aisément les démolir lorsqu'on arrête le fourneau et les rétablir pour recommencer; car souvent le fondage dans ces fourneaux ne dure qu'une semaine.

Cette poitrine des fourneaux courbes s'abaisse jusqu'à la brasque, excepté dans l'endroit où se trouve la trace, où il reste un vide ou trou qu'on appelle *œil*, parce qu'il en sort constamment un peu de flamme et de lumière pendant le

travail : de là les expressions de *fondre sur œil* et *fondre sur trace,* qui désignent des circonstances un peu différentes. On dit aussi dans les mêmes circonstances que l'*on fond à poitrine ouverte,* tandis que, dans d'autres circonstances, et par exemple dans les hauts-fourneaux à fer, on fond *à poitrine fermée.*

Le *bassin d'avant-foyer,* recevant tout ce qui sort fondu du fourneau, se remplit bientôt de scories et de métal, ou de mattes qui occupent des hauteurs différentes dans ce bassin. On enlève presque à chaque instant les scories ou crasses qui se solidifient par refroidissement à la superficie du bassin, et lorsqu'on aperçoit qu'il demeure presque rempli de matières métalliques, *on perce,* c'est-à-dire que l'on débouche un conduit pratiqué dans la brasque et qui amène ces matières dans un autre bassin, creusé dans le sol de la fonderie, et qu'on appelle *bassin de réception* ou de *coulée.*

Il y a des fonderies où l'on forme deux bassins d'avant-foyer, et par conséquent deux *œils,* dont l'un est bouché, pendant que le métal coule par l'autre ; il y a aussi deux bassins de réception : cette disposition a pour objet d'éviter d'arrêter la fonte pendant que l'on fait *la percée.*

La hauteur des fourneaux dont on vient de parler ne passe guère 2 ou 2,30 mètres : lorsqu'ils sont plus élevés, on ne peut plus les charger par devant, et ils prennent le nom de *demi-hauts-fourneaux;* la hauteur de ceux-ci va jusqu'à 4 mètres et davantage.

On trouvera à l'article de chaque métal l'indication de l'espèce de fourneau que l'on emploie ordinairement pour ses minérais, et des dessins dont l'explication en fera connoître tous les détails. Nous ne nous arrêterons point à traiter des *hauts-fourneaux* à fer, dont la hauteur est quelquefois de 20 mètres, quoiqu'elle soit souvent beaucoup moindre : ils ne diffèrent pas essentiellement des précédens, et offrent souvent cette particularité, qu'ils admettent fréquemment

plusieurs tuyères. On rencontre cette dernière disposition plus rarement dans les fourneaux où l'on fond le cuivre et le plomb. Cependant on y a trouvé des avantages réels au Hartz et dans d'autres usines de l'Allemagne, où on les emploie depuis quinze ou dix-huit ans. Quelques hauts-fourneaux à fer, et notamment tous les anciens fourneaux, n'en ont qu'une; mais presque tous ceux qui sont chauffés avec le coke, en ont deux et quelquefois trois.

Nous ne dirons rien des *fourneaux écossois* et des foyers de forge, qu'on appelle quelquefois *bas-fourneaux*, si ce n'est qu'ils sont compris dans les généralités exposées ci-dessus.

III. *Des fourneaux à réverbère.*

§. 8. Les *fourneaux à réverbère* sont ceux où le minérai, sans être contenu dans un vase fermé, n'est cependant point en contact avec le combustible : il ne peut recevoir que l'action de la flamme et du courant rapide d'air et de fumée qui traverse l'appareil. Ces appareils sont composés de trois parties distinctes : la *chauffe*, dans laquelle se fait la combustion; le *laboratoire*, où l'on place les matières à fondre ou à chauffer; enfin, la *cheminée*, qui sert à amener dans le fourneau un courant d'air suffisant.

1.° La *chauffe* se compose de *la grille*, sur laquelle on place le combustible ; son étendue en surface doit être proportionnée aux effets que l'on veut produire, c'est-à-dire, au degré et à la quantité de chaleur que l'on veut obtenir : il y a entre cette surface, qui devra être chargée de combustible, la capacité intérieure du laboratoire et la section de la cheminée, des proportions dont il ne faut pas trop s'éloigner si l'on veut obtenir un bon résultat.[1]

---

1 Suivant M Karsten (*Métallurgie*, §. 148), l'aire de la section de la cheminée ne doit pas être plus grande que les *deux* cinquièmes de la surface de la grille, lorsqu'on veut obtenir, dans le laboratoire, la plus grande chaleur possible : on lui donne une superficie moindre dans le cas où l'on n'a pas besoin d'une très-haute température.

L'écartement des barreaux de la grille dépend de la nature du combustible ; il est plus considérable pour le bois que pour la houille, et plus grand pour la houille en gros morceaux que pour la houille menue : de même, l'espace situé au-dessus de la grille, et où doit être contenu le combustible, est plus grand pour le bois, qui se présente sous un volume bien plus considérable que la houille et qui donne une flamme plus longue. Quand on emploie la houille, la grille est beaucoup plus rapprochée de la voûte : mais on doit laisser plus d'intervalle pour celle qui est très-bitumineuse que pour la houille plus maigre ; car il faut que la flamme n'entre dans le laboratoire que dans un état de pleine combustion, et non pas mêlée de beaucoup de fumée.[1]

Le combustible est introduit dans la chauffe par une porte, qu'il convient de tenir bien fermée et même de n'ouvrir que le plus rarement possible, afin de ne pas laisser passer au-dessus de la grille de l'air, qui refroidiroit considérablement le fourneau. Le mieux est de fermer cette ouverture de la chauffe avec une plaque de fonte qui glisse dans des coulisses de même matière. La grille est chargée de combustible sur une certaine hauteur, qui, pour la houille, ne doit guère dépasser six à sept centimètres. On a quelquefois employé une espèce de trémie presque horizontale, qui, étant adaptée à l'orifice de chargement de manière que le combustible puisse glisser aisément sur la grille, tient cette ouverture bouchée par l'accumulation de la houille elle-même ; celle-ci, s'échauffant à mesure qu'elle s'approche du foyer, se dispose ainsi à la combustion.

Au-dessous de la grille se trouve *le cendrier*, qui sert non-seulement à recevoir les cendres et les portions de combus-

---

1 On estime que sur cinq parties de la surface d'une grille, trois sont remplies par les barreaux, et deux demeurent ouvertes à l'air pour agir sur le combustible et le brûler. (Karsten, *Métall.*, §. 147.)

tible qui passent entre les barreaux et tombent avant d'être entièrement brûlés, mais encore comme de réservoir pour l'air qui doit se précipiter continuellement à travers la grille et entretenir une combustion très-active : c'est pour cela qu'ordinairement ces cendriers ont, ainsi que leur orifice extérieur, de fort grandes dimensions. On a même souvent le soin de tourner la porte du cendrier, formée par une voûte de 15 à 18 centimètres d'élévation, vers le nord ou le levant, afin d'avoir de l'air frais, et même quelquefois on y dirige les vents suivant leurs variations.

2.° Le *laboratoire* se compose intérieurement de la *sole* ou *aire*, de l'*autel* ou *pont*, et de la *voûte* ou *réverbère.*

La *sole* est la surface plane ou courbe, horizontale ou inclinée, sur laquelle on place les matières à échauffer ou à fondre; elle est ordinairement formée de sable réfractaire (quartzeux), ou de brasque : quelquefois à l'extrémité opposée à la chauffe on pratique un bassin ou creuset, qui communique à l'extérieur et dans un ou plusieurs bassins de réception par des canaux ou conduits que l'on ferme ou que l'on ouvre à volonté, au moyen d'un tampon de sable ou d'argile. Le *pont* est un petit mur élevé de quelques pouces, et qui sépare la chauffe du laboratoire; il sert d'un côté à empêcher que rien ne puisse tomber dans la chauffe, et de l'autre à former un obstacle à ce que l'air, qui pourroit être demeuré froid après avoir traversé la grille, ne touche trop promptement les matières à échauffer.

Enfin, la *voûte*, destinée à faire toucher ces matières par la flamme, et en même temps à projeter sur elles beaucoup de chaleur rayonnante, a une courbure qui lui donne une forme fort surbaissée, et qui laisse plus ou moins d'intervalle entre sa surface inférieure et la sole, suivant que l'on a besoin d'espace, soit pour les opérations elles-mêmes, soit pour le passage d'un volume d'air échauffé plus ou moins considérable. La courbure de cette voûte n'est pas aussi im-

portante qu'on l'a cru ; il suffit qu'elle puisse se soutenir facilement et qu'elle ne présente aucune cavité inutile, du moins lorsqu'on veut avoir une haute température. On la construit ordinairement en briques réfractaires, ainsi que le pont et ce qui supporte le sable de la sole. Quelquefois ce sont des briques non cuites et seulement séchées, que l'on unit avec de l'argile délayée servant de mortier, comme on le fait dans les fours de verrerie. Le laboratoire et la voûte qui le recouvre, doivent aller en diminuant depuis la chauffe jusqu'à la cheminée, et dans aucun endroit ils ne doivent être plus larges que le foyer. Au reste, pour les dimensions et les proportions, on se dirige suivant les opérations et d'après les fourneaux établis qui, servant aux mêmes usages, passent pour produire de bons effets.

L'endroit où se trouve la plus grande chaleur est situé tout auprès du pont, et c'est là que l'on place les matières réfractaires que l'on veut fondre. Il y a dans le corps du fourneau une ou plusieurs ouvertures ou *portes*, qui servent, soit à charger la sole, soit à remuer ces matières ou à faire quelque autre opération : il est sensible qu'il faut tenir toutes ces ouvertures exactement fermées, et même margées avec de l'argile, lorqu'on veut obtenir la plus grande chaleur que le fourneau puisse produire.

L'extérieur du fourneau peut être construit en briques ordinaires ou en pierres taillées ; mais, dans tous les cas, il est nécessaire d'en assurer la solidité et la durée par un assemblage de barres de fer, dont l'ensemble prend le nom d'*armature*.

3.° La *cheminée*, partie très-importante des fourneaux à réverbère, puisque c'est celle qui détermine le *tirage* et par suite l'activité de la combustion, doit être considérée dans ses dimensions par rapport à celles de la chauffe et du laboratoire ; mais celles intérieures, et les seules influentes, sont la surface de sa section et sa hauteur totale.

On peut calculer assez aisément, mais non pas fort exac-

tement, d'après la connoissance (la mesure) de la température moyenne de l'air dans la cheminée, quelle sera la quantité d'air extérieur qui traversera la grille dans un temps donné ; car on sait que la force qui pousse celui-ci est la différence de poids qui existe entre une colonne d'air à la température actuelle de l'atmosphère, et la colonne de fumée et d'air dilaté contenue ou renfermée dans la cheminée, et toutes les deux ayant la même hauteur que celle-ci.

La section et la hauteur doivent être proportionnées à la surface de la grille, en ayant égard à la distance des barreaux et à la nature du combustible : on ne peut donner de règle à cet égard ; mais, pour conduire le fourneau, augmenter ou diminuer, entre certaines limites, la chaleur produite, la cheminée est souvent munie d'un *registre* ou trappe qui permet d'augmenter ou de diminuer la section du canal de la cheminée, et par suite le tirage du fourneau : ce moyen est simple, et l'effet en est aussi prompt qu'assuré.

§. 9. On remarquera que la cheminée des fourneaux à réverbère remplace la machine soufflante qui est adaptée aux fourneaux à courant d'air forcé : et, quoique cela puisse paroître plus simple et moins dispendieux, il ne faut pas croire cependant que la dépense soit absolument nulle ; car cette nécessité d'établir un courant d'air fort rapide entraîne celle de maintenir l'air renfermé dans la cheminée à une température fort élevée, et par conséquent de laisser sans autre emploi toute la chaleur entraînée par l'air et les vapeurs qui sortent du laboratoire encore extrêmement échauffés. Dans quelques circonstances où l'on n'avoit pas besoin d'un tirage fort actif, on a employé avec succès une cheminée très-élevée, qui déterminoit le passage de la flamme et des gaz à travers un second laboratoire, semblable au premier et chauffé aussi, quoique plus foiblement, par le même combustible. Ces dispositions ingénieuses et économiques s'appliquent particulièrement au chauffage des métaux, pour les

travailler ensuite à l'état solide, et surtout au grillage des minérais.

M. de Buffon a essayé, sans beaucoup de succès, de remplacer les soufflets d'un haut-fourneau à fer par une cheminée qui surmontoit le gueulart; il avoit adapté, en outre, à la tuyère, un cône aspirateur de très-grande dimension : mais les résultats ne furent jamais satisfaisans.

Quelquefois l'orifice de sortie de la fumée se trouve placé au-dessus du fourneau même, et c'est ainsi qu'on le pratique pour les fourneaux où l'on fond le bronze des canons; il n'y a, pour ainsi dire, point de cheminée. Mais, lorsque celle-ci doit être fort élevée, il convient de la placer à côté, et alors le fourneau communique avec elle au moyen d'un canal incliné, qu'on appelle le *rampant*. La hauteur des cheminées des fourneaux à réverbère est souvent de 8 à 10 mètres, mais quelquefois de 17 et même de 20 mètres.

Les fourneaux à réverbère construits dans de bonnes proportions et destinés à produire un haut degré de chaleur, peuvent conserver sur la sole une température de 150 et même jusqu'à 160 degrés du pyromètre de Wedgewood : c'est la chaleur à laquelle le fer doux commence à entrer en fusion; mais ordinairement elle est beaucoup moindre.

§. 10. Nous avons dit que l'air qui traversoit les foyers de combustion ne se dépouilloit jamais complétement de son oxigène, et que de là résultoit la nécessité d'en faire pénétrer beaucoup davantage et généralement deux ou trois fois plus qu'il n'en pourroit être absorbé pour une combustion complète. Une conséquence importante de cet état des choses, c'est que dans les fourneaux à réverbère le courant de flamme et d'air, plus ou moins brûlé, qui passe de la chauffe dans le laboratoire, produit presque toujours, en résultat, un effet d'oxidation. Il peut bien arriver que des parties de combustible non brûlées et tombant sur les matières placées sur la sole, paroissent les désoxider partiellement; mais cet effet ne peut être

durable, et le plus souvent, à l'aide de ces courans, on parvient à oxider des métaux, à brûler du soufre, etc. Il est vrai que l'on aide souvent à ces effets en ouvrant des portes par lesquelles il se précipite de l'air frais dans le laboratoire; mais le résultat énoncé n'en est pas moins constant et général.

Nous n'avons pas cru devoir traiter en particulier des *fourneaux de grillage*, dont on trouvera l'indication à l'endroit où il sera parlé de cette opération; les détails relatifs aux fours de verrerie, fours à chaux, fourneaux de cémentation, appartiennent à la description particulière des arts où ils sont employés.

2.e SECTION.

Des machines soufflantes.

§. 1.er Les machines soufflantes ont pour but de porter de l'air au milieu du combustible renfermé dans un fourneau, et malgré la résistance qu'opposent nécessairement les matières accumulées dans son intérieur : toutes celles que l'on a imaginées jusqu'ici compriment l'air dans un réservoir, d'où il s'échappe ensuite avec la vîtesse due au degré de compression qu'il éprouve et en quantité déterminée en outre par la grandeur de l'orifice d'écoulement. Il y a donc deux choses à considérer dans l'effet d'une machine soufflante: la quantité d'air qu'elle peut fournir dans un temps donné, et la vîtesse qu'elle lui imprime. On remarquera toutefois que, dans une machine, ces deux élémens ne sont point indépendans, mais liés ensemble, de manière qu'avec la même force motrice on peut, entre certaines limites, faire entrer une grande quantité d'air avec une petite vîtesse, ou un petit volume d'air avec une vîtesse plus grande. Autrement, on peut, en conservant le même volume d'air fourni, le faire sortir par un petit orifice avec une grande vîtesse, ou par un orifice plus grand avec une vîtesse nécessairement moindre. Comme on cherche toujours à rendre la marche

des fourneaux la plus uniforme et la plus régulière qu'il est possible, on doit faire concourir à ce but toutes les circonstances qui peuvent influer sur les fontes, et celles de la quantité de l'air et de sa vîtesse sont au nombre des plus importantes. Il faut donc que les machines soufflantes fournissent une quantité d'air uniforme, quoiqu'on se ménage d'ailleurs les moyens de faire varier la vîtesse de projection. Nous indiquerons, à la fin de cet article, en quoi consistent les *régulateurs* employés pour les grandes machines, et comment on mesure la compression ou la force élastique de l'air qui détermine sa vîtesse au sortir du réservoir.

Les machines soufflantes sont toutes comprises dans les quatre genres que voici : 1.° *les soufflets* proprement dits; 2.° *les pompes soufflantes* ou *soufflets à piston;* 3.° *les soufflets hydrauliques ;* 4.° *les trompes.*

Les moteurs employés pour donner le mouvement à celles de ces machines qui ont des parties mobiles, et en général à l'air qu'il s'agit de transporter, varient suivant les localités et la puissance des machines : ce sont des cours d'eau ou des machines à vapeur, et bien plus rarement des chevaux.

À chaque machine soufflante est adapté un *porte-vent* ou tuyau destiné à conduire l'air dans le fourneau ; ce porte-vent se termine par un tuyau un peu conique, en métal, qu'on appelle *buse,* et c'est cette buse qui est placée dans la tuyère, seule ou accompagnée d'une ou de deux autres. La direction que l'on donne aux buses des soufflets dans la tuyère, et même la distance que l'on met entre leur extrémité et celle de la tuyère, sont des choses auxquelles les fondeurs donnent toujours beaucoup d'attention.

Des soufflets.

§. 2. Les soufflets des fonderies ont à peu près la même forme et sont construits sur les mêmes principes que les soufflets domestiques : on en voit de même de simples et de doubles;

il y en a en cuir et un plus grand nombre en bois. Ceux en cuir sont peu employés actuellement, à raison de leur prix plus élevé et de leur peu de durée. Les soufflets tout en bois sont d'un usage moins dispendieux, et l'on peut à moins de frais leur donner de grandes dimensions. Ils sont formés (voyez fig. 1, *A* et *B*) de deux coffres pyramidaux placés horizontalement et dont l'un pénètre dans l'autre : celui (*b c*), qui porte la *buse* (*c*), est immobile, c'est l'inférieur : il porte à son fond une soupape (*s*). Le coffre supérieur (*a*) est seul mobile : lorsqu'il est levé, l'air entre dans le soufflet par la soupape (*s*); lorsqu'il s'abaisse, l'air est comprimé et sort par l'orifice de la buse (*c*). Les bords des deux caisses s'appliquent exactement l'un contre l'autre, au moyen de liteaux (*d f*) bien dressés et constamment maintenus en contact avec les parois de la caisse fixe par des ressorts (*r*). Une roue hydraulique fait ordinairement mouvoir ces soufflets; les *cames* (*h*), en appuyant successivement sur les *mentonnets* (*i*), font baisser la partie supérieure du soufflet et le bras (*k*) du levier (*k l*) auquel il est attaché ; l'autre bras (*l*) remonte et relève la caisse supérieure du second soufflet (*a*). Ces deux soufflets, placés l'un à côté de l'autre, et s'ouvrant et se fermant alternativement, donnent un vent continu et à peu près uniforme.

On voit aisément comment l'air renfermé dans la cavité que forment les deux caisses, est comprimé chaque fois que la caisse supérieure s'abaisse, et par quelle raison il doit alors s'échapper par l'orifice de la buse. Mais, comme les deux caisses ne peuvent point se toucher exactement par leur fond, l'air n'est jamais expulsé en entier; il en reste toujours un peu qui conserve le degré de compression que lui a donné la machine, jusqu'à ce qu'il se dilate au moment où la caisse supérieure s'élève. C'est un inconvénient et un défaut grave de toutes les machines de cette forme, et qui fait consommer, en pure perte, une partie de l'effort du

moteur. Enfin les frottemens sont très-grands dans ces soufflets, et tendent encore à diminuer leur effet; c'est ce qui leur fait préférer les soufflets à piston.

Des pompes soufflantes.

§. 3. Les pompes soufflantes ou soufflets à piston (fig. 2) sont d'une invention assez récente et remplacent avantageusement, dans les usines, les soufflets anciens. Ces machines sont composées d'une caisse cylindrique de la forme d'un parallélipipède (A, B), dans laquelle monte et descend un *piston* (*p*) de même diamètre que la caisse. L'air contenu dans celle-ci, étant comprimé par le piston, sort avec force par la buse et entre dans le fourneau. C'est la *pompe de compression*, que l'on voit dans les cabinets de physique. Il suffit que le piston soit bien garni et le corps de pompe bien allésé, pour qu'il ne se perde point d'air; et en réglant le mouvement de manière que la base du piston vienne toucher le fond de la caisse, ce qui est toujours facile, on évitera l'inconvénient que nous avons signalé dans les soufflets ordinaires, celui de comprimer inutilement de l'air qui demeure ensuite dans la machine. Il est d'ailleurs très-aisé de faire mouvoir cette machine, en communiquant, dans le sens vertical, un mouvement de va-et-vient à la tige du piston. Enfin, en ajustant convenablement des soupapes, on peut en faire une machine à double effet, c'est-à-dire, dont le piston comprimera de l'air et en laissera entrer dans une partie de sa capacité intérieure, en même temps et à chaque levée ou à chaque abaissement. On aperçoit déjà qu'un des avantages de ces soufflets sera d'occuper beaucoup moins d'espace que ceux en bois qui produiroient le même effet.

On fait les pompes soufflantes tantôt en fer fondu, et alors le corps de pompe est cylindrique; souvent en bois, c'est alors une caisse carrée : quelquefois, enfin, on forme cette

caisse par quatre plaques de marbre poli, assemblées convenablement. Le piston peut être garni en cuir, ou bien il peut être à *liteaux*, comme dans les nouvelles machines à vapeur d'Edwards.

Des soufflets hydrauliques.

§. 4. Martin Triewald a imaginé (Transactions philosophiques, année 1736) une machine soufflante composée de deux cuves ou caisses renversées dans de l'eau; elles étoient munies de soupapes et suspendues chacune à l'extrémité d'un balancier: lorsque l'une d'elles s'élevoit, elle se remplissoit d'air par une ouverture qui se fermoit au moyen d'une soupape lorsqu'elle redescendoit; alors, et pendant ce mouvement de descension, l'air se trouvoit comprimé en raison de la diminution de l'espace compris entre le fond de la caisse et la surface de l'eau du réservoir. Cet air pouvoit sortir d'ailleurs en ouvrant une autre soupape et passer ensuite dans le porte-vent. L'autre caisse, disposée exactement de la même manière, exécutoit un mouvement semblable, mais en alternant avec la précédente. Ce principe, réellement ingénieux, a été employé de diverses manières, et l'on y trouve toujours un moyen d'éviter les frottemens très-notables qui ont lieu dans les soufflets en bois et dans ceux à piston. Grignon a décrit, dans son ouvrage sur les forges, une machine soufflante analogue, qu'il avoit fait établir à Châtelaudren. Enfin, il y a peu d'années que M. Baader en a construit plusieurs dans diverses forges de l'Allemagne : on en trouve la description dans le tome XXIX du Journal des mines.

On emploie aussi, dans la même contrée et sous le nom de *caisse à eau*, une machine soufflante semblable, mais très-petite et portative, pour aérer certaines parties d'une mine et faciliter le percement des puits ou des galeries. Voici la description abrégée d'une machine de cette espèce, employée pour donner de l'air à un grand fourneau. Supposons qu'on

ait (fig. 3) une espèce de cloche en fonte, en cuivre ou en bois (*a b c d*), susceptible d'être plongée dans l'eau et relevée périodiquement à l'aide d'une force motrice quelconque : lorsque cette cloche est enfoncée dans un espace (*efghik*) rempli d'eau, l'air qu'elle contient est chassé par la pression qu'il éprouve contre l'eau, et il passe à travers le tuyau (*BB*), pour arriver dans un réservoir (ou régulateur hydraulique), et de là dans le fourneau.

Dès que la cloche remonte, l'air extérieur y rentre de nouveau, au moyen de la soupape (*l*), qui s'ouvre alors pour se refermer aussitôt que la cloche plonge. Les mouvemens de cette machine se faisant dans un liquide, on voit que les frottemens sont à peu près nuls.

Une autre application plus nouvelle, et peut-être plus ingénieuse encore, de ce même principe, qui consiste à comprimer de l'air entre des surfaces de corps solides et la superficie de l'eau, a donné lieu à une machine soufflante qui est employée généralement en Angleterre pour fournir du vent aux petits fourneaux à refondre le fer pour le moulage ; on la voit maintenant employée à Paris. Mais il ne paroît pas qu'on puisse donner à ce soufflet hydraulique des dimensions assez considérables pour le faire servir à un haut-fourneau : tel qu'on le construit actuellement, il se distingue, dit-on, par la force du vent qu'il produit, autant que par la simplicité de sa composition. Cette machine, en bois ou en métal, se compose d'une caisse cylindrique à deux fonds opposés et plats (espèce de tonneau dont l'axe est horizontal) ; elle est maintenue à quelques pouces au-dessus du sol par des montans portant des collets de cuivre, sur lesquels tournent les extrémités de l'axe qui traverse la caisse. Un levier adapté à l'extérieur sert à lui imprimer un mouvement de va-et-vient, en lui faisant décrire un arc de cercle : l'intérieur est divisé sur la hauteur en deux compartimens par une cloison fixée au sommet et sur le côté, et qui descend

verticalement jusqu'aux trois quarts environ du diamètre ; cette cloison doit être rendue imperméable à l'air. Deux soupapes, pratiquées à chaque fond de la caisse et près du sommet, sont destinées à admettre et à expulser alternativement l'air ; les unes s'ouvrent en dedans et les autres en dehors. La caisse est remplie d'eau jusqu'au niveau de l'axe, un peu au-dessus du bord inférieur de la cloison ; deux flotteurs en bois empêchent la trop grande agitation du liquide, lorsqu'on fait mouvoir la machine : voici comment elle agit. Nous avons dit que le mouvement de va-et-vient qu'on lui imprime, lui fait décrire un arc de cercle ; ainsi, dans quelque position qu'elle se trouve, l'eau occupe toujours le même espace dans l'un ou dans l'autre compartiment, et l'air, fortement comprimé dans la partie comprise entre la cloison, la surface du liquide et les parois de la machine, sera forcé de s'échapper en soulevant les soupapes et de passer dans la tuyère avec une force proportionnée à la différence de niveau de l'eau dans les deux compartimens. Lorsque ce compartiment monte de nouveau, un semblable effet se produit dans l'autre, tandis qu'en même temps l'air rentre par la soupape d'aspiration. De cette manière l'air est alternativement expulsé, avec une très-grande force, de chaque compartiment, et par le simple mouvement de va-et-vient ; mais il ne l'est pas constamment, parce qu'il y a une petite interruption causée par la reprise de l'air : on peut obvier à cet inconvénient en établissant deux machines combinées de manière à ce que l'une soit en pleine action, tandis que l'autre aspire l'air. On assure qu'à l'aide d'une de ces machines, mue par un seul homme, on peut fondre cinq quintaux anglois de fonte, et même plus, par heure, dans les petits fourneaux qu'on emploie assez souvent à cet usage.[1]

---

1 Il y en a un dessin dans le Bulletin de la Société d'encouragement pour l'année 1816, page 181.

Des trompes.

§. 5. La *trompe*, dont l'idée a sans doute été suggérée aux habitans des montagnes par les effets des chutes d'eau et des cascades, qui font toujours ressentir un vent frais dans leur voisinage, est une machine ou plutôt un appareil extrêmement simple, en ce qu'il n'a aucune partie mobile. Son effet est fondé sur la propriété qu'a l'eau d'entraîner dans son mouvement l'air qui l'environne, et de le laisser échapper aussitôt que son mouvement est brusquement détruit. Une trompe (fig. 4) consiste en un tuyau de bois ou arbre creusé (*a b c*), cylindrique ou carré, qui peut avoir vingt centimètres de diamètre, et par exemple sept mètres de hauteur; il est placé verticalement, de manière à recevoir par sa partie supérieure un courant d'eau, et pour faciliter l'introduction de ce liquide il porte une espèce d'entonnoir alongé (*a b*) : vers la partie étroite (*b*) se trouvent quatre ouvertures obliques (*o o*), qu'on nomme *trompilles*, par lesquelles l'air environnant peut entrer dans le tuyau et se mêler avec l'eau. L'eau, amenée par un canal (*A*) au-dessus de la trompe, s'y précipite par l'entonnoir et produit un courant qui fait entrer l'air par les trompilles; elle enveloppe cet air, et l'entraîne avec elle dans un tonneau ou caisse (*D*) qui termine la trompe et forme comme un réservoir. L'eau, en tombant sur la pierre ou la planche (*d*) qui est placée à une petite hauteur dans la tonne, laisse dégager l'air dont elle se sépare; elle s'écoule par les trous (*e e e*) percés au fond de cette tonne, et sort par un canal (*B*) situé à quinze centimètres au-dessus du fond de cette caisse. L'air, séparé de l'eau par le choc que ce liquide a éprouvé sur la planche ou la pierre (*d*) dont nous venons de parler, et comprimé d'ailleurs par l'eau qui l'entoure, est chassé avec force dans un porte-vent (*c f*) qui le conduit dans le fourneau. Le plus ordinairement on réunit ensemble deux trompes pour le ser-

vice d'un fourneau, et les deux tuyaux ou arbres verticaux viennent se rendre, par leur partie inférieure, dans la même caisse ou réservoir. Cette machine soufflante, extrêmement simple et peu coûteuse, et qui d'ailleurs n'éprouve jamais de dérangement, est employée depuis bien des années et avec avantage dans les pays de montagnes, où les chutes d'eau un peu considérables se rencontrent très-fréquemment. On en voit beaucoup dans les Alpes et les Pyrénées; elles offrent entre elles quelques différences qu'il ne convient pas d'examiner ici.

On a fait aux trompes, comme aux soufflets hydrauliques, le reproche de donner de l'air humide, qui pouvoit produire de mauvais effets dans les fourneaux, ou tout au moins en diminuer la chaleur; mais il ne paroît pas que ce reproche soit fondé, et il n'a point trouvé crédit auprès des praticiens.

Quelque soin que l'on apporte dans la construction des trompes, on ne peut espérer d'obtenir, avec une même dépense d'eau, un courant d'air égal à celui que fourniroit la même force motrice employée à mouvoir une pompe soufflante.

Des régulateurs.

§. 6. Quand on se sert de soufflets ou de trompes pour entretenir la combustion, il convient d'établir auprès de chaque fourneau une paire de chacune de ces machines; mais, lorsqu'on s'est décidé à faire usage des soufflets hydrauliques ou des soufflets à piston dont la grandeur, et par suite les effets, ne sont point, comme dans les précédentes, limités par de certaines considérations pratiques, il faut bien se garder de multiplier les machines. On ne doit en établir qu'une seule dans chaque fonderie, surtout s'il s'agit de pompes soufflantes, et lui donner les dimensions et la force nécessaires pour en obtenir toute la quantité d'air dont on peut avoir besoin pour toute une fonderie. Alors il convient, sous plusieurs rapports, d'avoir un réservoir d'où l'on puisse tirer l'air à

chaque instant et en quantité variable, et sans en laisser perdre, comme on le fait assez ordinairement; il faut surtout ne pas diminuer le courant nécessaire à d'autres fourneaux: il est donc important que ce réservoir conserve de l'air avec une compression constante, malgré les irrégularités qui ont lieu dans la marche des machines et les variations qui surviennent dans la consommation de celui qu'elles fournissent. Un tel réservoir est ce que l'on appelle un *régulateur* pour les machines soufflantes. On en connoît trois sortes, dont nous allons indiquer brièvement le principe fondamental.

1.° Le régulateur à eau a beaucoup d'analogie avec le soufflet hydraulique, auquel on le réunit souvent; il consiste en une cloche ou caisse renversée dans laquelle se rend l'air qui sort de la machine soufflante. Cette caisse peut être fixe, et alors c'est le liquide dont le niveau s'abaisse, lorsque l'air entre par compression et remonte à mesure qu'il en sort pour aller dans les fourneaux. Quand la caisse est mobile, elle est chargée d'un certain poids, que l'air soulève au moment de son introduction, et qui retombe quand il en sort une portion, puisque cela diminue sa compression intérieure. On conçoit que, par ces moyens, et surtout à l'aide du dernier, on peut obtenir une compression sensiblement constante dans le réservoir, et par conséquent un écoulement à peu près uniforme dans les fourneaux. Enfin, en réglant convenablement le poids qui comprime l'air, on lui donnera la vîtesse convenable aux effets qu'il doit produire.

2.° Le régulateur à piston diffère très-peu du précédent. Il est formé d'une caisse ou d'un cylindre dans lequel se meut, à frottement et verticalement, un piston de même diamètre, et qui est chargé d'un poids plus ou moins grand et toujours proportionné à la compression que l'on veut faire éprouver à l'air contenu dans le réservoir. Dans ce régulateur, ainsi que dans le précédent, il y a plusieurs soupapes, et en outre des ouvertures extérieures, dites *de sûreté*, pla-

cées à une hauteur telle qu'en soulevant le piston l'air trouve une issue, si sa compression dépasse un certain terme qui pourroit compromettre la résistance de la machine et occasioner les accidens les plus graves.

3.° Enfin, on a employé, dans quelques grandes fonderies de l'Angleterre, comme réservoir et régulateur, des *caves à air* ou grands espaces voûtés, dans lesquels on réunissoit tout l'air fourni par une machine soufflante très-puissante. On conçoit qu'en effet, lorsqu'il s'agit d'un espace de vingt mètres cubes ou davantage, les variations dans les quantités d'air fournies ou extraites deviennent tout-à-fait insensibles. Mais ces caves sont fort dispendieuses à établir, et l'on éprouve beaucoup de difficulté pour empêcher la déperdition de l'air.

Tous les grands réservoirs destinés à fournir de l'air à des fourneaux doivent être munis d'un *manomètre* à eau ou à mercure, destiné à faire connoître, à chaque instant, la compression qu'éprouve ce fluide dans l'intérieur, et les variations qui peuvent avoir lieu dans sa force élastique : c'est l'unique moyen de pouvoir juger de la marche des machines.

C'est aussi à l'aide du même instrument appliqué à la caisse fixe d'un soufflet, ou au réservoir d'une trompe, ou bien seulement au porte-vent, que l'on mesure la quantité d'air qui est introduite dans un fourneau quelconque, soit constamment, soit à diverses époques des opérations. Le manomètre fait connoître la force élastique de l'air; on en déduit sa vîtesse de sortie par un orifice, et ensuite il suffit de multiplier cette vîtesse par l'aire de cet orifice, pour avoir le volume d'air qui sort pendant une seconde ou une minute.

CHAPITRE IV.

De quelques procédés généraux de la métallurgie.

Le but des opérations métallurgiques est presque toujours la séparation d'un métal que l'on veut obtenir pur, d'avec d'autres substances qui se trouvent combinées avec lui, soit naturellement, soit par l'effet de l'art. On ne peut se refuser à voir dans ces procédés, de véritables analyses chimiques que l'on fait en grand, et en remplissant de certaines conditions économiques, mais qui, comme nous l'avons dit, ne sont jamais complètes; c'est-à-dire qu'on ne se propose que bien rarement d'isoler chacun des composans, et cela parce qu'il n'y a ordinairement qu'un petit nombre de ceux-ci qui soient utiles et qu'on puisse obtenir séparément avec l'économie convenable. Il s'agit donc, dans les usines, comme dans les laboratoires, de produire des décompositions, et pour cela de former de nouvelles combinaisons : les moyens sont donc les mêmes, lorsqu'on les considère d'une manière générale; ce sont des affinités chimiques à mettre en jeu et à combiner de manière à arriver à un résultat désiré.

Les problèmes de métallurgie sont ordinairement résolus comme la plupart de ceux que présentent les sciences, celles même qui paroissent en différer le plus ; il s'agit toujours de simplifier les questions, et de les ramener aux termes les plus simples, ce qui a lieu par des transformations : ces transformations qui, dans les sciences morales ou spéculatives, s'exécutent sur l'énoncé, et par le raisonnement ou le calcul, s'opèrent dans les arts, par de véritables changemens physiques ou chimiques. Pour prendre un exemple dans lá métallurgie, si l'on veut séparer un métal d'avec le soufre auquel il est combiné, on peut chercher à faire passer ces deux corps à l'état d'oxide, parce qu'on sait que le soufre sera expulsé facilement à l'état d'acide sulfureux et que l'oxide métallique sera ensuite réduit (décomposé) plus fa-

cilement par une autre opération, que ne l'auroit été primitivement le sulfure. Le traitement des minérais de fer, qui sont ordinairement des oxides combinés avec des terres, est fondé sur une transformation de l'oxide en fer carboné, substanee qui se sépare bien des matières terreuses et à laquelle on enlève ensuite le charbon combiné pour obtenir le fer pur. En formant d'abord la combinaison connue sous le nom de fonte de fer, dont la fusibilité et la grande pesanteur spécifique permettent une séparation facile d'avec les matières terreuses, on ramène le problème à la décomposition du fer carboné, opération délicate, à la vérite, mais que l'on pratique cependant avec avantage : la description de la plupart des procédés métallurgiques confirmeroit encore mieux cette analogie entre les méthodes employées dans toutes les sciences pour arriver à un certain résultat.

La solution des questions de métallurgie qui ont pour objet la séparation d'un métal ou sa purification, peut dépendre de deux méthodes principales : 1.^{ent}, faire entrer en des combinaisons particulières les substances qui se trouvent unies avec le métal ou avec les métaux qu'il s'agit d'obtenir isolés, et en laissant ceux-ci avec leurs propriétés métalliques, c'est-à-dire purs ou à peu près tels; c'est ce qui arrive lorsqu'on traite des sulfures de plomb, d'antimoine, par le fer, ou le sulfure de mercure par la chaux : on obtient immédiatement ces métaux avec toutes leurs propriétés caractéristiques. C'est encore le principe de la séparation du plomb d'avec l'argent ; on oxide le plomb par l'oxigène atmosphérique, et, faisant couler l'oxide sous forme de litharge, l'argent métallique reste à nu. Ce moyen très-direct, puisqu'il est fondé sur une affinité simple, ne sauroit être employé immédiatement dans beaucoup de cas, surtout lorsqu'il s'agit de minérais très-composés; car il faut non-seulement trouver une substance qui ait plus d'affinité pour le métal que les matières combinées avec lui, mais encore que cet agent de

séparation ne puisse s'unir avec lui, ou qu'on ait les moyens d'empêcher cette union : enfin, il est nécessaire que la séparation du nouveau composé ou du produit utile se fasse aisément et que tout l'ensemble de l'opération soit praticable sous les rapports économiques. Dans les exemples que nous avons rapportés ci-dessus, les sulfures sont des combinaisons simples ; le fer ne s'unit pas avec le plomb (un peu davantage avec l'antimoine), et la séparation du métal d'avec le nouveau sulfure s'opère bien, en employant une chaleur convenable. Si ce procédé ne peut être employé que rarement comme moyen immédiat d'obtenir les métaux, on cherche souvent à ramener l'état du métal à celui d'une combinaison binaire, que l'on décompose ensuite comme nous l'avons dit : c'est l'objet de la seconde méthode de traitement des minérais.

2.[ent] Une autre méthode générale consiste à engager le métal même qui fait l'objet du traitement, dans une combinaison nouvelle, qui se séparera aisément des autres et qui servira à en extraire, en quelque sorte, le métal qui, concentré par là dans un composé binaire, devra subir une nouvelle opération pour être amené à l'état de pureté; nous en avons déjà rapporté un exemple pris dans la fabrication du fer : le traitement des minérais d'or et d'argent par l'amalgamation, c'est-à-dire par le mercure, les fontes des matières argentifères avec du plomb ou des substances qui en contiennent, présentent des cas simples de l'emploi de la méthode que nous venons d'indiquer d'une manière générale.

Une méthode ou un *procédé* se compose d'une suite d'opérations qui se succèdent dans un certain ordre et à l'effet d'atteindre un but déterminé et d'obtenir un résultat utile ; souvent un procédé se compose d'opérations mécaniques et d'opérations chimiques. Le succès d'un procédé bien combiné dépend évidemment de la manière dont chaque partie a été exécutée, puisque l'opération qui suit suppose que

celle qui précède a amené un certain changement dans les matières que l'on traite, et l'on voit qu'il suffit d'en avoir manqué une, pour que le résultat définitif ou le produit utile soit défectueux, et par suite, pour qu'il y ait une perte souvent notable sur le traitement qui devoit donner un bénéfice : cela est d'autant plus à craindre qu'il y a un plus grand nombre d'opérations et qu'elles sont plus délicates, parce que des imperfections peu visibles à la suite de chacune d'elles, suffisent pour avoir à la fin des conséquences nuisibles. C'est un motif de plus pour chercher à amener les procédés au plus grand degré de simplicité possible, sans nuire au résultat, c'est-à-dire, de réduire autant qu'on le peut le nombre des opérations, de ne faire que celles qui sont très-réellement utiles, et enfin de choisir, parmi tous les moyens d'atteindre un certain but, ceux qui sont les plus faciles à exécuter.

La nature des opérations et leur enchaînement, et ce qu'on peut appeler le *choix d'un procédé* ou sa détermination, sont quelquefois le résultat de divers essais ou tâtonnemens, ou, ce qui est la même chose, d'une longue pratique ; mais, comme ils doivent toujours s'accorder avec les lois de la physique et avec les propriétés chimiques des corps, il est très-important de les examiner sous les rapports de la théorie, lorsqu'on les trouve établis dans les usines. Lorsqu'il s'agit d'établir de procédés pour des cas nouveaux, ou seulement de modifier les anciens, il faut toujours diriger ses essais par une théorie éclairée, et s'étayer d'analogies bien fondées ; c'est le seul moyen de ne pas se perdre dans tous les tâtonnemens possibles, et de circonscrire le nombre des expériences, afin d'éviter beaucoup de peines et de dépenses sans résultat. La théorie métallurgique, qui n'est que la connoissance des rapports d'un grand nombre de faits entre eux et avec les lois de la physique et de la chimie, offre donc le seul guide pour établir des procédés nouveaux et pour

perfectionner les anciens. Mais il y a une partie des procédés, savoir l'exécution des opérations, qui doit nécessairement demeurer confiée aux ouvriers, et dont la réussite dépend souvent uniquement de leur expérience et de leur adresse. Cette partie très-importante pour le succès des entreprises métallurgiques demeure dans la dépendance entière des ouvriers, et celle-ci est d'autant plus grande que l'art manquant presque toujours de moyens précis pour mesurer les effets produits dans chaque opération, et pour déterminer le point où l'on doit s'arrêter, il faut beaucoup de temps pour que les ouvriers puissent y suppléer par des observations très-délicates et des apparences difficiles à saisir. Ce sont là les causes des obstacles que l'on éprouve lorsqu'on cherche à fonder de nouveaux procédés, à perfectionner les anciens et à naturaliser un genre d'industrie dans les lieux où elle n'existe pas encore.

Nous ferons remarquer, relativement aux résultats des procédés ou des opérations, qu'il est bien rare, en métallurgie, d'atteindre le but que l'on se propose, sans répéter plusieurs fois les mêmes opérations sur les mêmes matières, ou du moins sans les prolonger de manière que cela revient au même. Le plus souvent une opération unique, même en la supposant bien exécutée, ne produit qu'une séparation imparfaite d'une substance, et il faut ou la continuer long-temps dans des circonstances favorables, ou la recommencer plusieurs fois pour obtenir un effet total. Les causes de ce fait, très-fréquemment observées dans les travaux métallurgiques, tiennent quelquefois à la nécessité de subordonner le choix des moyens et des agens à l'économie, c'est-à-dire à une dépense limitée; ce qui oblige souvent à employer ceux qui ne produisent qu'un effet médiocre, au lieu des plus parfaits indiqués par la théorie. D'un autre côté, comme on opère toujours sur des masses considérables, on n'est point assuré, quelques précautions que l'on prenne, que l'action chimique

se sera étendue à toutes les parties, et il convient de multiplier jusqu'à un certain point les occasions de rencontre mutuelle, à l'égard des molécules destinées à agir les unes sur les autres, afin d'augmenter le nombre des chances de succès : lorsqu'on peut séparer les matières qui ont éprouvé un effet complet, de celles qui exigent encore un nouveau traitement, ainsi qu'on le fait dans le *grillage*, cela est fort avantageux. Enfin, il arrive quelquefois, et principalement lorsqu'il s'agit d'obtenir des métaux très-purs, de ne faire que des séparations incomplètes, c'est-à-dire de sacrifier une partie du produit pour avoir le reste dans un grand état de pureté, lorsque cela est utile ; mais on ne doit en user ainsi qu'après s'être assuré des avantages définitifs qu'on en obtiendra et lorsqu'on ne peut pas mieux faire.

Nous allons maintenant faire connoître quelques opérations d'une pratique très-générale dans les usines, et décrire avec quelque détail l'espèce de *préparation chimique* qu'on appelle grillage des minérais.

1.re SECTION.

Du grillage des minérais.

§. 1.er Le but des diverses préparations de minérai que nous avons indiquées précédemment, étoit de séparer des substances qui n'étoient qu'à l'état de mélange, et il suffisoit alors d'employer des moyens mécaniques. Les préparations chimiques dont nous allons nous occuper sont presque toujours destinées à séparer des substances chimiquement combinées, dans la vue de disposer ces minérais à passer avec plus d'avantage aux fourneaux de fonte. Ces opérations préparatoires, connues sous les noms de *grillage*, rôtissage ou torréfaction, s'exécutent par le moyen du feu ; et les minérais les subissent ordinairement avant d'avoir été mêlés comme il convient pour l s fondre : ce qui distingue principalement les opérations du grillage de celles qui doivent les suivre, c'est qu'elles ne supposent jamais la fusion du minérai ; cette cir-

constance seroit même, dans presque tous les cas, nuisible et contraire à l'accomplissement de l'objet que l'on se propose, et elle ne se présente guère qu'accidentellement et par le défaut d'attention ou d'habileté des ouvriers chargés de conduire l'opération.

Cette préparation est pour ainsi dire toute métallurgique, tandis que les bocardage et lavage se rapportent plus particulièrement à l'exploitation des mines; aussi les préparations mécaniques sont-elles plus souvent exécutées tout auprès des mines elles-mêmes, et les préparations chimiques (à quelques exceptions près, relatives aux minérais de fer) sont pratiquées dans les fonderies, ou tout auprès, et sous la surveillance du même directeur. Quelquefois, bien que dans un petit nombre de cas, le grillage n'a pour but que de produire un effet presque mécanique, celui de désagréger les parties d'un minérai, de le rendre plus facile à briser ou à pulvériser; c'est ce que l'on voit pratiquer quelquefois pour des minérais de fer, et même pour des minérais aurifères, lorsque ce métal se trouve disséminé dans du quarz très-dur.

Dans le plus grand nombre des cas où le grillage est employé, on se propose de séparer par volatilisation, au moyen du feu, quelques uns des composans des minérais que l'on y soumet, et de commencer ainsi l'espèce d'analyse qui doit conduire à l'extraction et à l'isolement du métal qu'ils contiennent. Cet effet est produit de deux manières différentes, suivant la nature et l'état de combinaison des substances que l'on veut séparer : il importe beaucoup de distinguer ces deux cas. Il peut arriver que ces substances soient susceptibles d'être volatilisées en nature, c'est-à-dire sans éprouver de changement chimique, et par une véritable distillation, résultant d'une certaine élévation de température; mais il y a des substances et des circonstances de combinaison où la même substance ne peut être séparée sans avoir été préalablement combinée avec l'oxigène pour former un composé

volatil, et il devient alors un *agent nécessaire* de l'opération. On sent bien combien il importe, dans ce dernier cas, de multiplier le contact des surfaces du minérai avec l'air atmosphérique, tandis que cela ne pouvoit être qu'inutile, ou même nuisible dans le premier.

§. 2. Ces considérations nous conduisent donc à distinguer trois sortes de grillages : 1.° celui qui a pour but de diminuer l'adhérence des molécules d'un minérai, ou sa cohésion ; 2.° celui par lequel on se propose de volatiliser en nature des substances qui en sont susceptibles, telles que l'eau ou l'acide carbonique qui se trouvent mêlés, combinés, soit avec les terres, soit avec les oxides métalliques, dans les minérais : on expulse ainsi une partie du soufre, et même des métaux volatils, de certains minérais, mais non pas la totalité. Ces deux sortes de grillages, dont l'un est une simple calcination, et l'autre une sorte de distillation, pourroient avoir lieu dans des vases fermés, c'est-à-dire sans le concours ou le contact immédiat de l'air atmosphérique. Enfin, la troisième sorte de grillage suppose, comme nous l'avons dit, l'action directe de l'oxigène atmosphérique sur le minérai, et dans le but de former avec les substances que l'on veut séparer, une combinaison volatile ou gazeuse que la chaleur dissipe aisément, et qui se répand dans l'atmosphère. Il ne faut pas oublier que l'oxigène, en formant cette combinaison, agit aussi le plus ordinairement sur les substances qui étoient combinées avec celles que l'on veut séparer, et concourt ainsi à détruire l'affinité qui lioit les premières dans le minérai. Cette remarque est principalement applicable aux grillages par lesquels on veut séparer le soufre, et même l'arsenic, l'antimoine, etc.

Il est exact de rapporter au grillage considéré sous ce dernier point de vue, l'opération par laquelle on brûle le charbon combiné avec le fer, dans la fonte que l'on veut convertir en fer doux, en lui faisant subir ce qu'on appelle l'*affinage;* il n'y a de différence qu'en ce que l'on parvient par

des manipulations délicates à empêcher que le métal ne soit oxidé en totalité, en même temps que s'opère la combustion du charbon combiné.

Quelquefois le grillage avec le contact nécessaire de l'air, celui de la troisième espèce, est pratiqué dans un but un peu différent de celui que nous avons supposé : on se propose alors, non pas de séparer une substance, mais bien de combiner de l'oxigène atmosphérique, afin de produire un certain changement utile dans les substances minérales que l'on y soumet, c'est ce qu'on voit dans le grillage des schistes alumineux, la fabrication du sulfate de fer avec des pyrites, etc.

La troisième espèce de grillage, celle où l'oxigène atmosphérique est un agent de séparation absolument nécessaire, devroit être désignée par une dénomination particulière, d'autant plus utile qu'elle indiqueroit la convenance d'une disposition de l'opération un peu différente de celle qui peut avoir lieu dans les autres opérations du même genre.

Les grillages, qui ne sont qu'une calcination, ou même une espèce de distillation, peuvent aisément atteindre leur but en une seule opération; mais il n'en est pas toujours de même lorsqu'on veut opérer une oxidation : il est nécessaire de présenter à l'air un corps solide concassé sous toutes ses faces; et si les dispositions de l'appareil ne permettent pas de faire varier leur arrangement, il faudra nécessairement multiplier les opérations, afin d'oxider le plus possible les surfaces, et encore le centre des morceaux pourra-t-il n'avoir éprouvé que peu de changemens; c'est ce qui arrive dans beaucoup de circonstances : par exemple, les sulfures métalliques qui sortent des fourneaux, et que l'on appelle *mattes*, sont toujours grillés à plusieurs reprises avant qu'on en ait pu séparer la plus grande partie du soufre.

Les mattes sont souvent grillées dix ou douze fois, et souvent jusqu'à vingt fois et plus : c'est ce qu'on appelle donner plusieurs feux.

On remarquera aussi que dans ces sortes de grillages il faudroit éviter la fusion des matières, parce que cette réunion de toutes les parties, en diminuant l'étendue de surface qui peut demeurer en contact avec l'air, et en introduisant une nouvelle force de cohésion, s'opposeroit très-efficacement à l'accomplissement du grillage.

§. 3. L'opération du grillage, en général, s'exécute par différens procédés qui sont relatifs tantôt à la nature des minérais, quelquefois à l'espèce de combustible dont on peut disposer; d'autres fois, à l'objet même du grillage. Dans tous les cas, on a cherché à apporter la plus grande économie dans cette opération, tant sur le combustible que sur la main-d'œuvre, et cela est d'autant plus important qu'elle est toujours pratiquée sur de grandes masses.

On distingue trois méthodes ou procédés principaux: 1.° le grillage en tas à l'air libre, le plus simple de tous; 2.° le grillage pratiqué entre de petits murs, et qu'on peut appeler *grillage encaissé* (*rost stadeln*), et 3.° enfin le grillage dans des fourneaux.

On remarquera, dans la description que nous allons donner de ces divers procédés, que, dans les deux premiers, le combustible est toujours en contact immédiat avec le minérai à griller, tandis que dans les fourneaux il y en a où ce contact n'a pas lieu.

1.° Le grillage à l'air libre et en tas plus ou moins considérables, est pratiqué sur les minérais de fer et sur ceux qui sont pyriteux ou bitumineux. L'opération consiste, en général, à étendre sur une aire plane, souvent préparée avec de l'argile battue, du bois de corde[1], ou des fagots, quel-

---

1 La dénomination de GRILLAGE, maintenant la plus usitée en françois, paroît dériver de ce que les minérais placés sur des bûches disposées parallèlement, semblent être sur un GRIL et destinés à être véritablement geillés.

quefois l'un et l'autre, de manière à en former un lit bien égal; souvent on y répand aussi du charbon de bois pour remplir les interstices et empêcher que le minérai ne tombe entre les autres morceaux de combustible. On se sert quelquefois de houille en morceaux, et même, à ce qu'il paroît, de tourbe. Le minérai, soit concassé, soit même quelquefois sous la forme de schlich, est entassé sur le combustible ; le plus souvent, on forme des lits successifs de ces deux matières, afin que, le feu se communiquant d'une couche à l'autre, le minérai soit plus uniformément et plus complétement grillé. La forme de ces grillages est celle d'une pyramide ou d'un prisme alongé, tronqué à la partie supérieure. Lorsque le minérai est en gros morceaux, et même dans tous les cas où il contient du soufre qui peut s'enflammer, on recouvre la superficie du tas avec de la terre, du gazon, ou des menus débris de mine, pour empêcher que la combustion ne devienne trop rapide dans l'intérieur de la masse, et faire durer l'opération : il convient d'ailleurs d'empêcher que la chaleur ne se dissipe par les surfaces extérieures.

Le volume des tas de grillage varie beaucoup dans les diverses contrées : pour les minérais de fer et les pyrites en morceaux, on grille à la fois depuis cinq jusqu'à huit, et même dix mille quintaux anciens; à l'égard des minérais pyriteux et bitumineux, pour lesquels on ne met qu'un lit de bois dans la partie inférieure, leur grandeur et par suite leur durée, qui varie de six mois jusqu'à une année, sont motivées sur leur composition, attendu que ces minérais renferment en eux-mêmes un combustible qui, une fois allumé, entretient la chaleur du grillage. Dans les pyrites, ce n'est que le soufre excédant à celui qui constitue le proto-sulfure de fer. Au milieu de ces grands tas de minérais, on a soin de ménager une cheminée, que l'on forme en bois, et qui sert, au commencement de l'opération, à faire communiquer l'embrâsement dans toute la masse; le combustible, placé à la partie

inférieure, est disposé de manière à former des canaux qui vont aboutir à la cheminée, et toujours pour le même objet.

Le feu allumé par la partie inférieure le plus ordinairement, et quelquefois cependant par la cheminée du milieu, se communique de proche en proche, et l'opération commence: elle a besoin d'être conduite de manière que la combustion soit lente et étouffée, afin que le grillage dure longtemps, et que toute la masse se pénètre également de chaleur. Les moyens que l'on emploie pour diriger le feu, sont de couvrir de terre à l'extérieur, les parties où il se manifeste avec trop d'activité, et de percer des trous ou donner du jour dans celles où il ne s'est pas suffisamment étendu. Les pluies, les vents, les saisons diverses, et surtout les bonnes dispositions primitives d'un grillage, influent beaucoup sur cette opération, qui demande d'ailleurs une surveillance presque continuelle au commencement.

On ne peut rien dire de général sur la consommation en combustible, parce que cela varie suivant la nature de ceux-ci, des minérais et le but que l'on se propose; mais il faut prendre pour règle de ne mettre que la quantité de combustible strictement nécessaire pour l'espèce de grillage que l'on veut donner, et pour que la combustion puisse se soutenir; car un excès de combustible produiroit, outre la dépense faite inutilement, l'inconvénient souvent fort grave d'une trop forte chaleur, qui pourroit fondre ou vitrifier les minérais, et ce seroit un résultat tout-à-fait opposé à celui que doit produire un grillage bien conduit.

On ne sauroit non plus rien dire sur la dépense en main-d'œuvre, relative aux grillages en général: il suffit de remarquer que l'on doit veiller avec le plus grand soin à diminuer la distance et le nombre des transports des minérais; et pour cela il suffit de faire un bon choix des emplacemens relativement aux magasins et aux fourneaux de fonte.

L'usage du grillage en tas, pour les minérais qui contien-

nent beaucoup de pyrite de fer, est fort économique, et même avantageux, en ce que l'on peut retirer du soufre par ce procédé. Pour cela, on recouvre la superficie et les faces latérales d'argile, en ayant soin d'en mettre davantage sur celles-ci, lorsqu'on aperçoit que ces surfaces se recouvrent d'une espèce de vernis luisant, qui est du soufre. On fait ensuite des trous hémisphériques dans la surface supérieure, et ils servent de récipient où se rassemble ce soufre qui suinte de tous les côtés : on l'y puise de temps à autre, avec une cuiller pour le verser dans un vase contenant de l'eau.

§. 4. 2.° La difficulté de conduire le feu dans le grillage des matières qui ne contiennent pas beaucoup de soufre, celle plus grande d'arranger et de maintenir en place les schlichs que l'on veut griller; enfin, la nécessité de donner plusieurs feux aux mêmes minérais, et par portions peu considérables, ont fait imaginer d'entourer l'aire sur laquelle on veut griller, de trois petits murs, ou de quatre, en pratiquant une porte dans celui de devant; c'est ce qu'on appelle une *aire murée*, et quelquefois assez improprement un fourneau de grillage. Dans l'épaisseur de ces petits murs, élevés seulement de 7 à 13 décimètres, on pratique souvent des conduits verticaux ou cheminées, que l'on fait correspondre à une ouverture au niveau du sol, de manière à exciter le tirage dans les parties voisines. Une fois que le grillage est allumé, on peut les ouvrir ou les fermer à leur partie supérieure, suivant les besoins de l'opération.

On établit ordinairement plusieurs fourneaux de cette espèce, accolés les uns aux autres par leurs murs latéraux, et tous terminés par un mur commun qui forme leur partie postérieure; souvent ils sont recouverts d'un hangar supporté en partie par le dernier mur dont nous venons de parler, et suffisamment élevé pour cet objet. Ces dispositions sont convenables pour le grillage des schlichs, et en général de toutes les matières qui doivent subir plusieurs feux, ce qui

est souvent indispensable pour obtenir une séparation à peu près complète du soufre, de l'arsenic, etc.

§. 5. 3.° Les fourneaux employés pour griller les minérais et les mattes sont assez variés suivant la nature des minérais et la grosseur des morceaux. Nous nous bornerons à indiquer les principaux.

a) Quand il s'agit de griller les minérais de fer, qui n'ont besoin que d'une simple calcination pour dégager l'eau et l'acide carbonique combinés, on peut se servir très-efficacement de fourneaux semblables à ceux dans lesquels on cuit la pierre à chaux par son mélange avec le combustible, et qui offrent l'avantage d'une opération qui ne discontinue point, dans un appareil qui n'est jamais refroidi. L'analogie des effets à produire est si parfaite que l'on peut employer le même fourneau à l'un ou à l'autre objet. Cependant on peut donner de plus grandes dimensions à ceux destinés à la calcination des minérais de fer, ainsi qu'on le remarque dans le fourneau employé à Vienne et au Creusot [1]. Mais il faut bien se souvenir que ce procédé n'est applicable qu'aux minérais concassés en morceaux, et point du tout aux minérais en grains ou pulvérulens.

On a essayé d'employer ce même moyen, un peu modifié, pour le grillage des minérais de cuivre sulfureux et pyrites, dans la vue d'en retirer une partie du soufre : on a obtenu plus ou moins de succès, mais sans avoir jamais surmonté tous les obstacles qui naissoient de la fusibilité du sulfure de fer ; il se prenoit quelquefois en masse, ou du moins les morceaux s'agglutinoient ensemble dans certaines parties du fourneau, et l'opération, ou s'arrêtoit tout-à-fait, ou languissoit plus ou moins : l'air ne pouvant plus pénétrer dans toutes les parties de l'appareil, le grillage étoit nécessairement imparfait dans quelques-unes. Ce dernier inconvénient étoit

---

1 Voyez Annales des Mines, année 1820, pl. V.

même plus grave qu'il ne paroît au premier abord ; car les minérais mal grillés, ne contenant cependant plus assez de soufre pour entretenir leur combustion, et souvent se réduisant en petits fragmens par refroidissement, ne pouvoient plus être repassés au même fourneau ; il auroit fallu achever leur grillage au fourneau à réverbère, ce qui est beaucoup trop coûteux.

Dans les Pyrénées, le grillage des minérais de fer s'exécute dans un fourneau circulaire, disposé de manière que le combustible est contenu et brûlé dans une espèce de chauffe intérieure, au-dessus de laquelle se trouvent les morceaux de mine de fer à calciner. Quelquefois la voûte de cette chauffe, qui supporte le minérai, est formée en briques qui laissent entre elles des ouvertures pour le passage de la flamme et de la fumée, et l'appareil ressemble alors à certains fours à cuire la poterie ; d'autres fois la voûte est faite avec de gros morceaux de minérai arrangés avec soin, tant sous le rapport de la solidité de l'assemblage, que relativement aux interstices qu'il convient de laisser à peu près uniformément dans cette voûte ; le minérai concassé (car il ne s'agit que de celui-ci) est ensuite arrangé sur cette voûte, et en ayant l'attention de placer les plus gros morceaux à la partie inférieure. On trouve dans ce dernier procédé beaucoup de simplicité dans la construction du fourneau, et l'avantage de pouvoir employer au grillage du minérai des branchages qui sont sans valeur dans les forêts.

Dans d'autres contrées on grille les minérais dans des fourneaux presque semblables à ceux où l'on cuit la porcelaine, c'est-à-dire que le combustible est placé extérieurement au corps du fourneau dans des espèces d'alandiers, et la flamme qui s'en élève traverse le minérai concassé dont le fourneau est rempli. Dans un semblable appareil le grillage est continu.[1]

---

1 Karsten, Métallurgie, §. 72.

b) Lorsqu'on se propose de retirer le soufre des pyrites de fer ou des minérais pyriteux, on peut employer différens fourneaux, parmi lesquels il faut distinguer celui usité en Hongrie, et qui est formé par quatre murs figurant un parallélipipède rectangle, et chacun d'eux étant percé de trous ou conduits qui se rendent dans des chambres de condensation, où le soufre est recueilli; le minérai, placé entre les quatre murs sur du bois arrangé comme pour les grands grillages à l'air libre, se grille en laissant dégager beaucoup de soufre qui trouve plus de facilité à sortir par les conduits latéraux qu'à travers toute la masse, ou par la surface supérieure recouverte de terre, et se rend dans les chambres dont nous avons parlé. On peut ainsi griller à la fois 25000 quintaux (ancienne mesure) de pyrites, et obtenir une grande quantité de soufre.

On a aussi employé au même usage, mais par une opération continue, des fourneaux prismatiques, espèces de hauts-fourneaux élevés de six à sept mètres.[1]

§. 6. c) Il est facile d'apercevoir que le fourneau à réverbère peut fournir un des meilleurs moyens de grillage, principalement dans le cas où il est nécessaire d'employer l'action simultanée de la chaleur et de l'air atmosphérique pour détruire certaines combinaisons et décomposer les sulfures, les arseniures, etc. : il est bien évident que la facilité que l'on a de remuer les matières étendues sur la sole, afin de renouveler les surfaces, d'observer leurs apparences, d'augmenter ou de diminuer le degré de chaleur, etc., promettent un succès bien plus assuré, un grillage bien mieux exécuté que par tout autre procédé. On sait d'ailleurs que la flamme mêlée de beaucoup d'air non décomposé qui vient de la chauffe, est très-oxidante et fort capable de brûler du soufre et d'oxider des métaux. Enfin, c'est presque le seul moyen de bien griller

1 Karsten, Métallurgie, §. 71.

les minérais qui sont en poudre très-fine. Si on ne l'emploie pas constamment et pour toute espèce de minérai, c'est presque toujours parce qu'on trouve plus d'économie à pratiquer le grillage en tas ou sur des aires entourées de murs; d'ailleurs il faudroit, dans certaines mines, un très-grand nombre de ces fourneaux et beaucoup d'ouvriers pour griller les quantités considérables de minérais que l'on y fond journellement; il résulteroit alors de la construction de ces appareils et de leur entretien une dépense très-notable, que l'on évite en employant les autres procédés.

Mais, dans tous les cas où l'on veut obtenir un grillage très-parfait, comme pour la blende, dont on veut retirer le zinc, le sulfure d'antimoine, etc., ou bien enfin pour les minérais réduits en poudre très-fine et destinés à l'amalgamation, il convient de faire l'opération dans un fourneau à réverbère. Quand on traite des minérais sulfureux très-fusibles, il faut, dans l'ouvrier chargé de conduire le grillage, beaucoup de soin et d'habitude, principalement pour ménager le feu. Quelquefois il arrive cependant que le minérai se fond en partie, alors on est obligé de retirer les matières de dedans le fourneau pour les concasser ou les bocarder de nouveau, afin de recommencer l'opération. Du reste, la construction de ces fourneaux, pour servir à cet usage, ne demande d'autre attention que celle de donner à la sole ou laboratoire la grandeur convenable, et d'y proportionner ensuite la grille et la cheminée de manière à ce que le chauffage s'en fasse avec la plus grande économie.

Le fourneau à réverbère est toujours employé pour griller les minérais précieux, et surtout ceux qui doivent passer à l'amalgamation; comme ces derniers contiennent souvent de l'arsenic, de l'antimoine et autres substances volatiles, on les dispose d'une manière particulière.

La sole, ordinairement très-spacieuse, est partagée en deux parties, dont l'une, plus éloignée de la chauffe, est un peu plus

élevée que l'autre; au-dessus de la voûte se trouve un espace ou chambre dans laquelle on dépose le minérai, et qui communique avec le laboratoire par un tuyau vertical : ce dernier sert à faire tomber le minérai lorsqu'il est déjà séché et un peu échauffé. La flamme et la fumée qui sortent du laboratoire, en entraînant les vapeurs sulfureuses et arsénicales, passent dans des chambres de condensation avant d'entrer dans la cheminée de tirage, et y déposent l'oxide d'arsenic et d'autres substances [1]. Lorsque le minérai, tombé sur la partie de la sole la plus éloignée de la grille, a éprouvé assez de chaleur pour avoir commencé de se griller, et est devenu moins fusible, et que d'ailleurs le grillage de celui qui se trouvoit sur l'autre partie est terminé, on avance la première vers la chauffe, et l'on termine son grillage en le remuant fréquemment au moyen d'un râble qui est introduit et manœuvré par l'une des portes que l'on ouvre à cet effet. On juge que l'opération est finie, lorsque les vapeurs et l'odeur ont presqu'entièrement cessé; sa durée dépend d'ailleurs de la nature des minérais.

Lorsqu'on emploie ce fourneau pour griller des minérais très-arsénicaux, comme ceux d'étain de Schlackenwald en Bohème, et à Ehrenfriedersdorf en Saxe, les pyrites arsénicales de Geyer (en Saxe), etc., les chambres de condensation dans lesquelles on se propose de faire déposer et de recueillir l'arsenic oxidé s'étendent sur une longueur beaucoup plus considérable que dans les fourneaux ordinaires qui servent au grillage de la galène, ou des minérais de cuivre et même d'argent. (*De la Richesse minérale*, tom. III, p. 208.)

On doit comprendre parmi les préparations chimiques, les longues expositions à l'air et à la pluie, que l'on fait subir aux minérais de fer spathiques particulièrement, tantôt après et quelquefois avant le grillage. L'expérience a prouvé que c'étoit un moyen très-efficace pour les débarrasser de cer-

---

1 Richesse minérale, tom. III, pag. 207, pl. 52, fig. 10, 11 et 12.

taines substances nuisibles, telles que le soufre et même la magnésie, lorsque celle-ci se trouve dans des minérais un peu pyriteux.

2.e SECTION.

De divers procédés fondés sur l'action de l'oxigène.

Nous avons vu que la séparation du soufre, de l'arsenic, etc., dans les minérais soumis au grillage, étoit principalement due à la combinaison de l'oxigène qui forme des composés volatils avec ces substances. La facilité que l'on trouve à se procurer et à employer ce même agent (l'oxigène), est un motif d'en faire usage dans bien d'autres circonstances : on profite souvent de la différence d'oxidabilité qui existe entre les métaux pour les séparer les uns des autres: et c'est sur cette propriété que sont fondées diverses opérations connues sous le nom d'*affinage* et de *raffinage*, dont quelques-unes ont un rapport marqué avec le grillage ; nous allons en indiquer plusieurs :

a) L'*affinage de la matte.* Cette opération, pratiquée sur la matte de plomb et cuivre, et particulièrement lorsqu'elle contient de l'antimoine, de l'arsenic, etc., n'est qu'un grillage exécuté à l'aide du vent d'un soufflet : il est tout simple que l'oxidation soit plus prompte et plus complète que dans le grillage ordinaire ; mais aussi la vaporisation du plomb est beaucoup plus considérable et la perte est toujours très-grande sur ce métal. De plus, comme les métaux (plomb et cuivre) que l'on veut obtenir plus purs, s'oxident en même temps que le soufre et l'arsenic, on est obligé de faire succéder une fonte de réduction à un affinage, et ainsi plusieurs fois de suite.

b) L'*affinage de la fonte*, pour en obtenir du fer forgé, est fondé sur l'oxigénation du carbone combiné qui se sépare du fer sous forme gazeuse et à l'état d'oxide de carbone ou d'acide carbonique : en opérant avec beaucoup de précautions et par l'effet de manipulations très-délicates, on par-

vient à purifier très-exactement la fonte, sans brûler la plus grande partie du fer, ce que l'oxidabilité de ce métal rend toujours difficile, et à ce point que la perte sur la fonte employée demeure entre un quart et un tiers.

Dans certaines méthodes d'affinage on se sert du vent d'un soufflet, et l'on opère au milieu du combustible (qui est alors du charbon de bois) dans un *foyer d'affinerie*. Dans un autre procédé où l'on emploie de la houille, ce combustible ne se trouve point en contact avec le métal, et il n'y a point de machine soufflante ; mais le courant d'air déterminé par la cheminée élevée du fourneau à réverbère où se fait l'opération, suffit pour fournir l'oxigène dont on a besoin.

c) C'est encore par une opération analogue à celle du grillage, que l'on commence à *purifier le cuivre noir* en Angleterre : on soumet pendant un certain temps des lingots de ce cuivre impur à l'action d'une forte chaleur et du courant d'air, dans un fourneau à réverbère, et l'on finit par fondre toute la matière ; c'est ce qu'on appelle le *rôtissage*, parce que le grillage a lieu sur des parallélipipèdes de cuivre. Le raffinage du cuivre noir se termine également sans le secours d'aucune machine soufflante. En Allemagne, on purifie le cuivre noir ou bien sur un petit foyer au milieu du charbon de bois, ou bien dans des fourneaux à réverbère ; mais en employant une machine soufflante qui projette de l'air à la surface du bain pour oxider les métaux étrangers. Dans ces procédés, le produit de l'oxidation n'est pas volatil en entier, et les oxides formés venant à la superficie, peuvent être séparés par une sorte d'*écumage*.

d) L'*affinage du plomb* et le *raffinage de l'argent* sont aussi des procédés basés sur l'oxidation des métaux, par l'air atmosphérique qui est projeté par un soufflet sur l'alliage fondu.

Nous n'avons signalé jusqu'ici que l'effet immédiat et direct de l'oxigène de l'air ; mais il est souvent important de considérer l'action d'une certaine quantité d'oxide métallique

formée en premier lieu dans une opération sur la matière qui reste encore indécomposée : l'oxigène atmosphérique, fixé d'abord et combiné avec le métal que l'on veut obtenir (et qui est ordinairement moins oxidable que les substances dont il s'agit de le séparer), se reporte sur les matières étrangères par suite du mélange et d'un contact prolongé, et concourt ainsi au succès de l'opération. Cette double action de l'oxigène est remarquable dans l'affinage de la fonte de fer, suivant l'une ou l'autre méthode, et peut-être plus particulièrement dans celle pratiquée en Angleterre. Il y en a encore un exemple plus frappant dans le traitement des minérais de plomb sulfuré, au fourneau à réverbère ; le mélange du minérai grillé au commencement de l'opération, avec celui qui est demeuré au-dessous et qui n'a subi aucune altération, donne lieu à une décomposition mutuelle entre l'oxide ou le sulfate de plomb et le sulfure indécomposé, et il en résulte la séparation d'une quantité notable de plomb métallique que l'on recueille immédiatement.

Il est vraisemblable qu'il se passe quelque chose d'analogue dans le traitement des minérais de cuivre sulfureux au fourneau à réverbère.

Toutes ces considérations étendent le champ de la métallurgie, et doivent donner lieu à beaucoup d'observations et d'essais dans le but de perfectionner les procédés, en cherchant à reconnoître exactement ce qui se passe dans les diverses opérations : mais on ne peut espérer de découvrir les causes des changemens qui s'opèrent dans les fourneaux et aux diverses époques des opérations, qu'en comparant soigneusement l'état des matières employées dans chaque circonstance, et après avoir bien reconnu leur composition par des analyses exactes.

3.e SECTION.

Des opérations qui s'exécutent dans les fourneaux de fusion.

Pendant long-temps on n'a vu, dans le traitement des minérais par le moyen du feu, qu'une opération analogue à la liquéfaction d'un métal pur : on supposoit qu'il suffisoit de mettre le minéral en fusion, ou, comme on dit encore aujourd'hui, de le *fondre*, pour que le métal, plus pesant que les matières terreuses, s'en séparât et parût avec ses propriétés caractéristiques. On ne savoit pas alors que les métaux ne sont point à l'état de mélange dans leurs minérais. Mais, comme ils sont combinés chimiquement avec l'oxigène, et souvent aussi avec le soufre ou d'autres métaux, on ne peut espérer de les obtenir purs qu'à l'aide d'une décomposition réelle, pour laquelle il faut employer des agens chimiques, dont le feu n'est qu'un auxiliaire plus ou moins nécessaire. En effet, la simple fusion d'un minérai dans un vase fermé et sans contact de matières combustibles, comme dans un creuset de platine bien fermé, produiroit un verre ou une scorie, et point de métal. C'est, pour la plupart des minérais, le contact du charbon, dont l'action a été pendant si long-temps supposée bornée à la simple production de la chaleur, qui les décompose et met à nu les substances métalliques. Enfin, une certaine proportion entre les matières terreuses dans les fourneaux, soit qu'elle se rencontre naturellement, soit qu'on y arrive par des mélanges artificiels, suffit pour obtenir des scories bien fondues et par suite la réunion du métal.[1]

Ce qu'on appelle la *fonte* des minérais est donc une opération toute chimique, où les affinités sont mises en jeu, et dans laquelle il faut employer des agens de décomposition

---

1 Voyez ce qui a été dit sur les fondans, chapitre II, 4.e section.

pour obtenir un résultat déterminé. Nous allons examiner comment ces effets sont opérés dans les fourneaux, et quelles sont les conditions nécessaires pour atteindre le but que l'on se propose.

En métallurgie, encore plus qu'en chimie, l'une des conditions les plus essentielles de l'action chimique, c'est, comme nous l'avons déjà indiqué, une certaine élévation de température, quelquefois modérée, plus souvent extrêmement élevée et voisine des plus hauts degrés de chaleur que l'art puisse produire. Pour bien comprendre les phénomènes qui ont lieu dans l'intérieur des fourneaux, il faut remarquer que le résultat général des fontes de minérais se compose de produits que l'on peut réduire à deux : premièrement le produit utile, qui sera le métal ou les métaux qui forment le but de l'opération, ou du moins un composé qui les contiendra beaucoup plus concentrés que dans le minérai, ainsi qu'on le voit dans les résultats de la fonte crue, de la fonte pour obtenir des mattes, etc.; en second lieu, les substances terreuses ou autres, dans lesquelles le métal se trouvoit engagé et que l'on rejette comme inutiles, lorsqu'elles ne contiennent plus de métal combiné ou en grenaille, que l'on puisse en retirer avec bénéfice : elles sont ordinairement combinées entre elles sous forme de verres ou de scories, et viennent occuper la superficie des creusets ou bassins de réception, le métal demeurant au-dessous.

On voit par ces détails que, dans une opération de fonte de minérai, il y a deux effets, produits successivement ou simultanément dans le même fourneau : 1.° la fusion complète, ou à peu près, de toutes les matières terreuses et même d'une partie des oxides métalliques contenus dans le minérai : elle s'opère à l'aide d'une forte chaleur, et aussi d'un mélange en proportions convenables de toutes ces matières. 2.° La réduction des oxides métalliques ou la désulfuration des métaux sulfurés, qui doit s'opérer après ou en même temps

que la fusion des matières étrangères. Cet effet de la *réduction* des oxides métalliques ne peut guère s'opérer pour certains métaux, tels que le fer, qu'à l'aide d'une haute température et d'un assez long contact de l'oxide avec le charbon. Le temps nécessaire pour la réduction peut influer sur les dimensions des fourneaux : c'est ainsi que l'on peut fondre les minérais de plomb, et surtout la litharge, dans des fourneaux très-peu élevés ; tandis que ceux où l'on fond les minérais de fer, le sont ordinairement beaucoup davantage.

Au reste, ces deux effets que nous venons de distinguer, ont une influence très-marquée l'un sur l'autre, du moins relativement au résultat final ; car c'est suivant que les circonstances sont plus ou moins favorables à l'un ou à l'autre, que l'on obtient ou non la totalité du métal contenu, et que l'opération se fait avec économie. Ainsi, lorsque les proportions des subtances terreuses ne sont pas les plus convenables pour former un composé facilement fusible à la température ordinaire des fourneaux, ou bien si cette température est trop basse et quelquefois même quand elle est trop élevée, les oxides métalliques obéissent à la tendance qu'ils ont à se combiner avec les terres pour former une combinaison vitreuse, et il en résulte une perte notable sur le métal contenu et que l'on se proposoit d'obtenir en entier ; la réduction étant devenue beaucoup plus difficile lorsque l'oxide est entré dans une combinaison et s'est vitrifié avec des terres, il faudra, pour obtenir le même résultat, consommer plus de combustible et le plus souvent même traiter plusieurs fois les mêmes matières. Nous indiquerons tout à l'heure les moyens qui sont mis en usage pour éviter ces inconvéniens.

Ajoutons encore, relativement à ce qui se passe dans les fourneaux, que la séparation complète des métaux réduits, d'avec les matières terreuses, dépend d'abord de leur réunion en globules, et ensuite de la facilité que trouvent ceux-ci à traverser ces mêmes matières plus ou moins bien fon-

dues, pour se rendre, sans être oxidés de nouveau, dans les parties inférieures ou creusets destinés à les recevoir. C'est sous ce rapport qu'il est utile que les laitiers aient toujours une fluidité suffisante pour que la séparation du métal s'en opère complétement en raison de la différence des pesanteurs spécifiques : mais, d'un autre côté, un laitier trop liquide n'enveloppe pas suffisamment les globules métalliques, n'y adhère pas assez et les laisse exposés à l'oxidation par l'action du vent de la tuyère ; de plus, des laitiers de cette espèce attaquent souvent les parois des fourneaux, et dissolvent même quelquefois beaucoup de l'oxide que l'on se propose de réduire. C'est donc entre ces deux inconvéniens qu'il faut marcher, et c'est une partie de l'art des fondeurs qui exige beaucoup de soins et une grande connoissance des moyens de conduire un fourneau. Lorsqu'on a des scories épaisses qui retiennent des grains de métal, on les bocarde et on les soumet à un lavage pour en retirer ces grains. C'est ainsi qu'on le pratique pour certains laitiers des hauts-fourneaux à fer de fonte d'étain, de raffinage du cuivre, etc., qui peuvent être traités avec bénéfice par ce procédé. Il y a peut-être une plus grande perte à avoir des laitiers trés-fluides, qui contiennent beaucoup de métal par l'effet de la dissolution de son oxide, parce que l'on ne peut l'en séparer que par une nouvelle fonte, opération toujours fort dispendieuse, ce qui oblige le plus souvent à abandonner et à rejeter des scories encore riches.

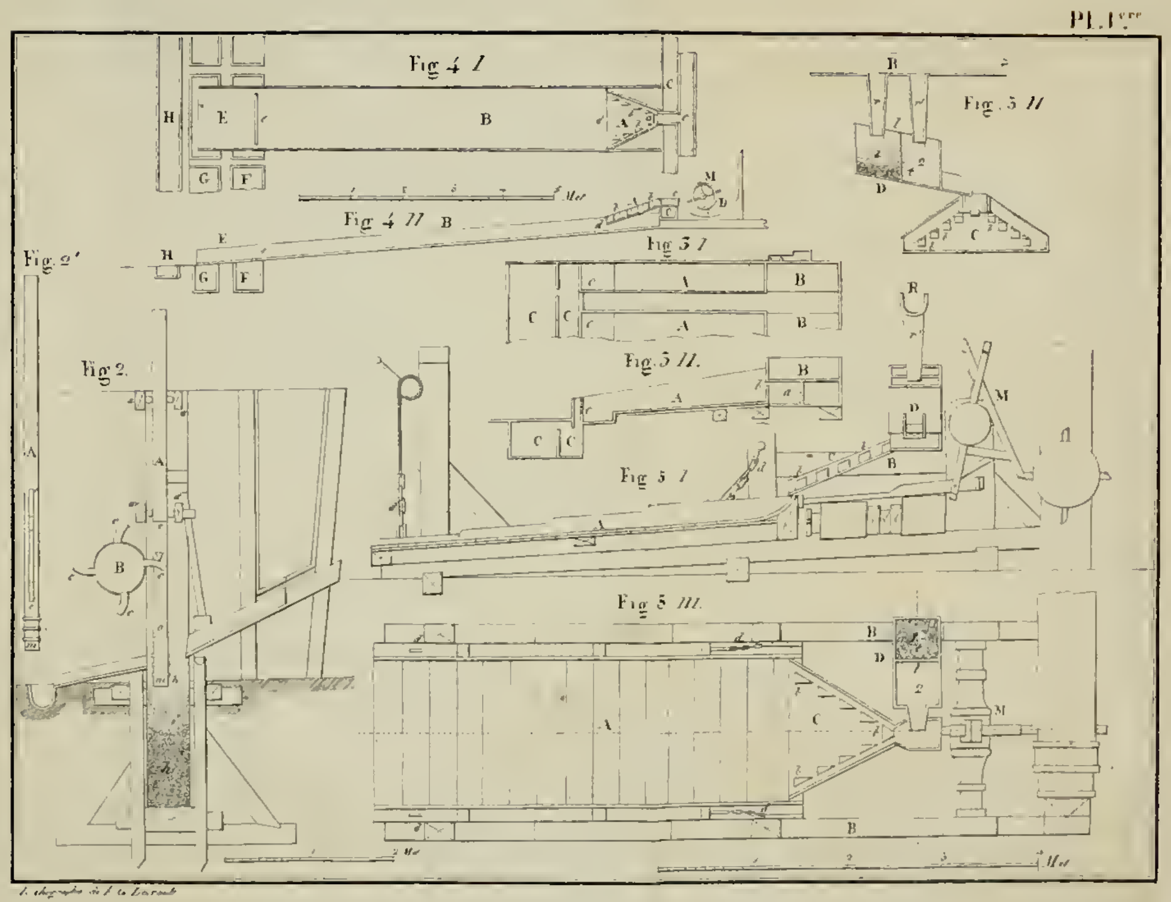
Les fourneaux à cuve et ceux à réverbère servent également à fondre des métaux et des alliages pour leur donner différentes formes, suivant les usages auxquels on les destine et en les coulant dans des moules. L'art du moulage, fondé sur la fusibilité des métaux, est évidemment une dépendance de la métallurgie, qui exige plus de pratique que de connoissances générales. Il y a un autre moyen de changer les formes des métaux, c'est celui dans lequel on profite de leur malléabilité pour les forger en barres, les étirer en

fils, ou les convertir en plaques ou lames plus ou moins épaisses. On se sert pour cela des marteaux, des laminoirs, et toutes ces opérations, qui demandent une connoissance parfaite de certaines propriétés de métaux, l'appréciation de leur pureté, et une grande pratique des manipulations, sont encore liées intimement avec les travaux métallurgiques; elles sont bien souvent exécutées dans les mêmes usines où l'on a préparé ou purifié les métaux.

Les aperçus que nous venons de présenter, suffisent pour montrer en quoi consiste la métallurgie comme science et comme art, et ce qui reste à faire pour en connoître en détail les procédés et les théories.

FIN.

STRASBOURG, de l'imprimerie de F. G. Levrault.


PL. 1ère
Fig 4 I
Fig 4 II
Fig. 5 II
Fig 3 I
Fig. 3 II.
Fig. 2'
Fig 2.
Fig 5 I
Fig 5 III.

Pl. 11.

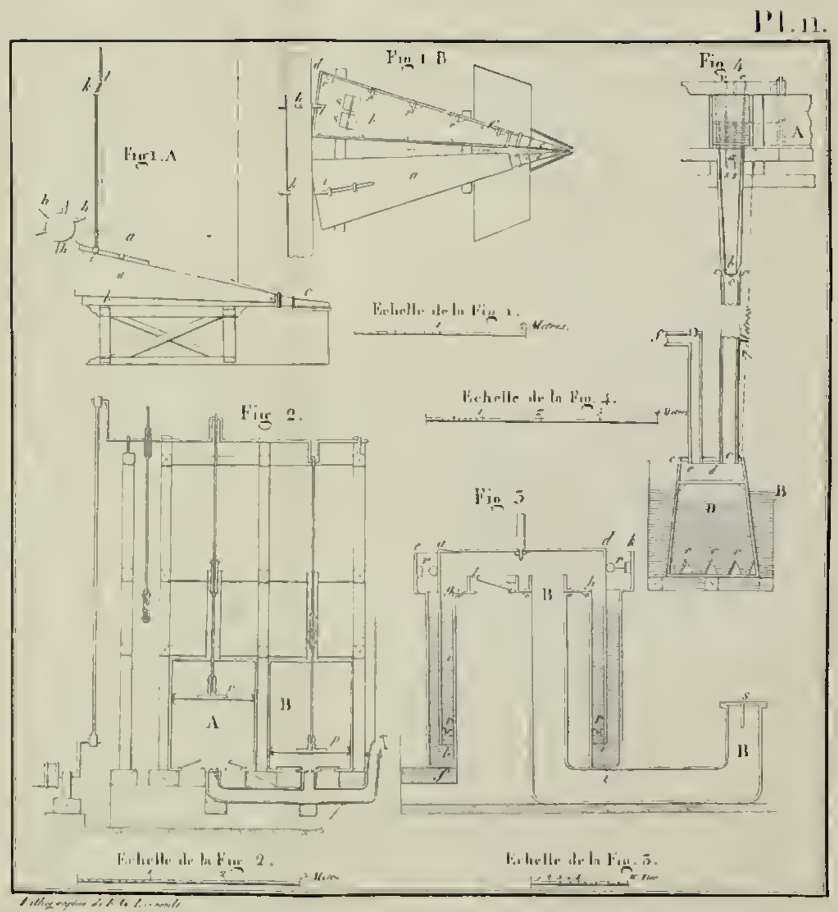


Fig 1. A
Fig 1. B
Fig. 4
Echelle de la Fig. 1.
Echelle de la Fig. 4.
Fig. 2.
Fig. 3
Echelle de la Fig. 2.
Echelle de la Fig. 3.